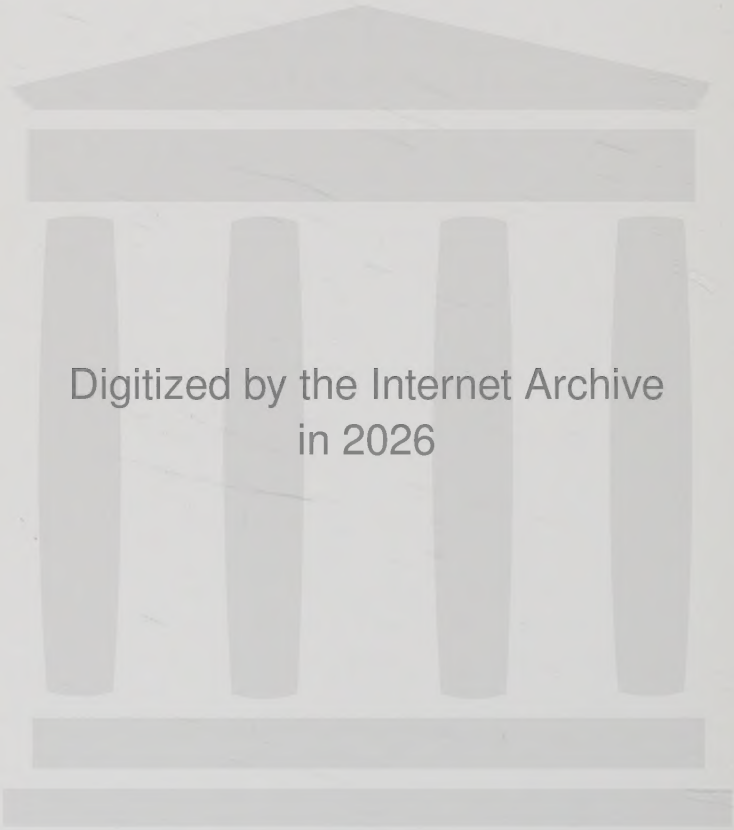
Sonagraphische Untersuchungen der Stimmstörungen bei Patienten mit organischen Gehirnerkrankungen

von

ULRICH HIRSCHMANN

aus Altdorf bei Nürnberg


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41540301_0001

Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde der
Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. M. E. Wigand

Sonagraphische Untersuchungen der Stimmstörungen bei Patienten mit organischen Gehirnerkrankungen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen-Nürnberg

Vorgelegt von
Ulrich Hirschmann
aus Altdorf bei Nürnberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. L. Demling

Referent: Prof. Dr. G. Kittel

Korreferent: Prof. Dr. M.E. Wigand

Tag der mündlichen Prüfung: 9. September 1974

An dieser Stelle bedanke ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Kittel für die Überlassung des Themas und die Bereitstellung aller für die Untersuchungen benötigten Apparaturen.

Dank schulde ich auch Herrn Prof. Dr. Wieck von der Universitäts-Nervenklinik für seine Unterstützung bei der Auswahl der Patienten, sowie Herrn Prof. Dr. Bronisch von den Städtischen Krankenanstalten Nürnberg, den Herren Direktoren der Bezirkskrankenhäuser Ansbach und Bayreuth und des Laurentius-Krankenhauses in Rummelsberg für die freundliche Bereitschaft, Patienten ihrer neurologischen Abteilungen untersuchen zu lassen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Moser für seine zahlreichen und wertvollen Anregungen bei der Abfassung dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

A. Einleitung....1
B. Theoretische Vorbemerkungen....2
I. Vorbemerkungen zu den neurologisch-anatomischen Grundlagen der untersuchten Krankheiten....2
II. Die untersuchten Krankheiten....2
a. Syndrome des extrapyramidal-motorischen Systems..2
Chorea....3
Morbus Wilson....4
Parkinson-Syndrom....4
b. Syndrome der demyelinisierenden Erkrankungen....6
Multiple Sklerose....6
c. Degenerative Syndrome....8
Bulbärparalyse....8
III. Vorbemerkungen zur Stimmerzeugung....9
a. Zur Geschichte der Phoniatrie....9
b. Theorien der Stimmerzeugung....10
1. Die klassische musculo-elastische Theorie....10
2. Die neuro-chronaxische Theorie....11
c. Anatomische und akustische Grundlagen der Stimmgebung....12
d. Die Rolle der Atmung bei der Stimmgebung....17
e. Das Regelverhalten bei der Stimmgebung....18
1. Regelung des Betriebsdruckes....19
2. Der mechanisch-pneumatische Regelkreis....19
3. Der cochleo-recurrentielle Regelkreis....19
IV. Neuere Methoden der Stimmregistrierung....20
a. Die Tonfrequenzspektralanalyse....20
b. Die Suchtonanalyse....21
c. Das Visible-Speech-Verfahren....22
C. Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen....23
I. Verwendete Apparaturen....23
a. Tonbandgerät und Richtmikrophon....23
b. Lautpegelmesser....23
c. Sonagraph....23
II. Beschreibung der Sonagramme....25

III. Versuchsanordnung und Durchführung.....27
D. Eigene Untersuchungen mit Ergebnissen.....30
I. Multiple Sklerose.....30
II. Bulbärparalyse.....43
III. Parkinson-Syndrom.....46
IV. Chorea-Syndrom.....48
V. Morbus Wilson.....49
E. Diskussion.....50
I. Besprechung der Ergebnisse.....50
II. Kritische Betrachtung der durchgeführten Untersuchungen.....54
a. Fehler bei der Aufnahme.....54
b. Fehler beim Vermessen der Sonagramme.....54
c. Aussichten auf weitere Untersuchungen.....54
F. Zusammenfassung.....56
G. Literaturverzeichnis.....58
H. Anhang.....61

A. Einleitung

Die Einführung der Sonagraphie hat wesentliche Fortschritte in der Phoniatrie mit sich gebracht. Mit dem Visible-Speech-Verfahren steht eine sehr gute Methode der Stimmregistrierung zur Verfügung, mit deren Hilfe es gelang, neue Einblicke in die Vorgänge bei Stimm- und Sprachbildung zu gewinnen.

Nun soll mit dieser Methode geklärt werden, inwieweit Abweichungen bei der Stimmbildung von Personen mit organischen Hirnerkrankungen und damit verbundenen Stimmstörungen feststellbar sind im Vergleich zur Stimmbildung Gesunder.

Zu diesem Zweck wurden Sonagramme von Patienten und Gesunden verglichen, die jeweils Dreiklänge mit den fünf Vokalen a, e, i, o und u gesungen hatten.

B. Theoretische Vorbemerkungen

I. Vorbemerkungen zu den neurologisch-anatomischen Grundlagen der untersuchten Krankheiten

Die Kerngebiete der Nerven n. glossopharyngeus und n. vagus sind nicht streng voneinander abzugrenzen. Auch bestehen Verbindungen zwischen beiden Nerven in der Peripherie. Deshalb werden gerne bei Funktionsstörungen Störungen der Glossopharyngeus-Vagus-Gruppe zusammengefaßt. Zusammen mit dem n. accessorius und dem n. hypoglossus bildet sie die kaudale Hirnnervengruppe. Das Kerngebiet ist die ala cinerea der Rautengrube am Boden des vierten Ventrikels; die peripheren Fortsätze gewährleisten die nervale Versorgung der gesamten Kehlkopf-, Schlund- und Zungenmuskulatur. Die genannten Kerne sind neben anderen nukleären Formationen des Hirnstammes Teile eines komplexen Systems von Leitungsbahnen, die im Dienst der Willkürmotorik, der zentralen und peripheren Koordination sowie Impulshemmung und -enthemmung stehen.

II. Die untersuchten Krankheiten

a. Syndrome des extrapyramidal-motorischen Systems

Anatomische Bestandteile des extrapyramidal-motorischen Systems sind das corpus striatum, der nucleus lentiformis, das corpus Luysi, die substantia nigra und der nucleus ruber. Sie sind durch Leitungsbahnen untereinander, mit dem Thalamus, den Strukturen des Mesencephalon, dem Cortex und der medulla spinalis verbunden.

Pathophysiologisch entstehen extrapyramidale Bewegungs-

störungen durch Läsionen in diesem komplexen System von Regelkreisen. Die Bahnen des extrapyramidal-motorischen Systems leiten Impulse zur Verrichtung "automatischer", gewohnter Bewegungsabläufe, zur Regelung des Muskeltonus und zur Koordination des muskulären Zusammenspiels. Unterbrechungen in dem Regelsystem äußern sich im hemmungslosen Auswirken von Impulsen (Tremor) oder im Dauertonus der Muskulatur (Rigor).

MUMENTHALER unterteilt die extrapyramidalen Erkrankungen in zwei Gruppen:

1. Hyperkinetisch-hypotone Syndrome;
   hierzu gehören u. a.
   die Chorea
   der Morbus Wilson
2. Akinetisch-rigides Syndrom;
   hierzu gehört das Parkinson-Syndrom

ad 1. Die Chorea

Die Chorea wird hervorgerufen durch eine Schädigung des Gebietes um das corpus striatum. Durch eine Unterbrechung des fasciculus strionigralis geht die Kontrolle der substantia nigra über Mitbewegungen und Tonus verloren.

Ätiologisch kommen Infektionen (Chorea minor seu rheumatica) und genetische Faktoren (Chorea Huntington) in Frage. Ferner kann die Chorea postapoplektisch auftreten.

Klinisch äußert sie sich in unkoordinierten, regellosen, abrupten Bewegungen. Die choreatische Dysarthrie beruht auf unregelmäßigen, zuckenden Bewegungsstörungen der Sprechmuskulatur (Lippen, Zunge, Gaumensegel, Kehlkopf). Kennzeichnend sind außerdem Grimassen und unkoordinierte,

wellenförmige Bewegungen der Zunge (BÖHME). Die Artikulation wird dadurch undeutlich und verwaschen, sie kann stakkato-ähnlich klingen oder verlangsamt ablaufen. Bei schweren choreatischen Erscheinungsformen treten unwillkürliche Aktionen der Stimmlippen auf, so daß Phonationsstörungen dem dysarthrischen Syndrom beizuordnen sind (ZIEMSSEN). Nach FREYSTADL verändern plötzlich einsetzende Kontraktionen des Kehlkopfes die Stimme und damit das lauthafte Sprechen. Durch die hyperkinetisch wechselnde Funktion der Phonationsmuskulatur klingt die Stimme heiser und tief und ermüdet rasch, was auf das Überwiegen der Kehlkopfadduktoren zurückgeführt wird (FREYSTADL).

Der Morbus Wilson

Der Morbus Wilson, auch als hepatolentikuläre Degeneration bezeichnet, geht in der Regel mit einer Leberzirrhose sowie psychischen Affekten einher.

Ätiologisch kommt eine genetisch bedingte Kupferstoffwechselstörung in Betracht.

Die Artikulation ist bis zur Unverständlichkeit verwaschen und verlangsamt (Bradyarthrie). Die Steifheit (Rigidität) und Bewegungsarmut der Artikulationsmuskulatur kann bis zur Unmöglichkeit der Mundöffnung gesteigert sein.

ad 2. Das Parkinson-Syndrom

Das Parkinson-Syndrom ist die häufigste der extrapyramidalen Erkrankungen. Pathologisch-anatomisch ist es gekennzeichnet durch die Atrophie der Ganglienzellen in der substantia nigra. Daneben können auch der Thalamus, das corpus striatum, der nucleus dentatus und

andere Formationen des Hirnstammes beteiligt sein.

Ätiologisch kommt eine Reihe von Faktoren in Frage, die nicht immer exakt faßbar oder gegeneinander abzugrenzen sind. Am häufigsten sind die Erkrankung nach Encephalitis und die Paralysis agitans als hereditäre Form der Parkinson-Krankheit.

Durch den Ausfall der substantia nigra als übergeordnetem Zentrum kommt es zur Aussendung überschüssiger Impulse zum peripheren motorischen Apparat (BÖHME). Das Parkinson-Syndrom ist folglich gekennzeichnet von Rigor; häufig findet man Ruhe-Tremor, aus der Steifheit können auch, bezogen auf die gesamten Bewegungsabläufe, Hypo- bis Akinesien resultieren. Infolge der hypokinetischen Phonationsmuskulatur klingt die Stimme leise und kraftlos. WIECK beschreibt die erschwerte Adduktion der Stimmlippen, ferner konnte der Ruhe-Tremor auch an den Stimmlippen festgestellt werden. Bei einigen der von uns untersuchten Patienten trat die Erscheinung der Propulsion sehr deutlich auf: nach einer anfänglichen Pause wird der Redefluß immer schneller, ohne daß der Patient ihn abzubrechen vermag. Hingegen hatten wir keine Fälle von Mutismus zu verzeichnen, wie er von MUMENTHALER beschrieben wird. Bereits nach kurzer Sprechdauer läßt die Lautstärke des Patienten wesentlich nach. Die Koordination der Respirations-, Phonations und Artikulationsmuskulatur geht verloren, was die ohnehin schon gestörte Artikulation noch wesentlich verschlechtert. Beim Parkinsonismus stellen sich im Verlauf der Krankheit erhebliche Veränderungen der musischen Faktoren ein. Dynamik, Akzentuierung und Sprachmelodie weichen einer leisen, an Intensität armen, monotonen Sprechweise. Weiter fällt die verkürzte Phonationsdauer auf, die SEEMAN als "Symptom des Erlöschens des Phonationsantriebes" be-

zeichnet. Folge ist eine immer schwächer werdende, undeutliche Sprache, die allmählich ganz versiegt. Das Sprechtempo ist verlangsamt (Bradylalie), ebenso, durch Rigidität und Hypokinese, das Artikulationsvermögen (Bradyarthrie). Psychische Symptome unterschiedlichen Ausmaßes können vorhanden sein. Ähnlich der Verlangsamung der Motorik sind auch die psychischen Vorgänge beeinträchtigt, die Patienten müssen sich "zum Denken zwingen". Auch dieses Phänomen trat bei unseren Untersuchungen deutlich zutage.

b. Syndrome der demyelinisierenden Erkrankungen

Eine intakte Myelinhülle ist für die Reizleitung entlang den markhaltigen Nerven Voraussetzung. Veränderungen oder Zerfall der Markscheide haben eine Änderung der Erregungsleitung zur Folge. Dies sei am Beispiel der Multiplen Sklerose erläutert.

Die Multiple Sklerose

Die Multiple Sklerose oder Encephalomyelitis disseminata ist die häufigste aller neurologischen Erkrankungen. Sie ist gekennzeichnet durch herdförmige Demyelinisationen. Die Axone bleiben dabei, von sehr akuten Herden abgesehen, erhalten. Die Herde können über das ganze zentrale Nervensystem verstreut sein, was in der Bezeichnung "Encephalomyelitis disseminata" zum Ausdruck kommt.

Die Ätiologie der Multiplen Sklerose ist noch unbekannt. Für keine der zahlreichen Hypothesen (Annahme einer Virusinfektion, Mikrothromben im Gehirn, Erbfaktoren u. a.) konnte bisher ein schlüssiger Beweis erbracht werden. Experimentell relativ fundiert ist die Annahme eines neuroallergischen Autoimmungeschehens (MUMENTHALER).

Die verschiedenen Lokalisationsmöglichkeiten bringen eine vielfältige Symptomatik wie bei keiner anderen neurologischen Erkrankung hervor.

Allgemeines klinisches Charakteristikum sind multiple, zeitlich gestaffelte Schübe; die Symptome können sich zwischen zwei Schüben vollständig zurückbilden. Es werden aber auch Fälle beobachtet, wo die Krankheit progredient verläuft.

Als Initialsymptom finden wir Retrobulbärneuritis, Uveitis, Schwindelgefühl, Nystagmus, doppelseitige Trigeminusneuralgie oder plötzliche Ertaubung. Skandieren der Sprache wird erst in fortgeschrittenen Stadien deutlich hörbar. Es findet sich aber bereits im Frühstadium. Die Angaben schwanken allerdings zwischen 5% (STRANSKY und WALDSCHÜTZ) und 20% (STERN). Unter Skandieren versteht man eine schleppende, silben- und buchstabenmäßig abgehackte Sprechweise als Folge einer cerebellären Koordinationsstörung. Bradyarthrie und Monotonie als Bestandteile des Skandierens gehen dieser Sprechweise voraus. PÖNITZ gibt als Ursache für das Skandieren eine Adiadochokinese der Artikulationsmuskulatur an.

Der Stimmumfang beträgt nur drei bis vier Töne. LEUBE erklärt die Monotonie durch zu geringe Spannung der Stimmlippen. Als weitere Folge davon kann die Atemluft zu schnell entweichen, weshalb Töne nur kurze Zeit gehalten werden können. LÖRI beschreibt eine Verzögerung der Muskelbewegungen am Kehlkopf, diese verlaufen ruckartig und werden oft von Zuckungen in der entgegengesetzten Richtung unterbrochen. Die Stimme klingt heiser und rauh. Bei laryngologischen Untersuchungen konnte ein Zittern der Stimmlippen am Beginn der Phonation beobachtet werden, das als "Initialzittern" bezeichnet wird.

c. Degenerative Syndrome

Von den hierzu gehörenden Erkrankungen ist die Bulbärparalyse von auffälligen phoniatrischen Befunden geprägt.

Die Bulbärparalyse

Die Bulbärparalyse entsteht durch degenerative Atrophie der motorischen Kerne der medulla oblongata und der pons (BÖHME). Außerdem zeigen Pyramiden- und kortikobulbäre Bahnen Veränderungen (MUMENTHALER). Die Krankheit kann akut-progressiv oder chronisch verlaufen. Die als Initialsymptom auftretende Dysarthrie beruht auf einer atrophischen Lähmung der Lippen-, Zungen-, Schlund- und Kehlkopfmuskulatur. Zusätzliche fibrilläre Zuckungen der Zunge tragen dazu bei, die Sprachstörung bis zur Unverständlichkeit zu steigern. Die monotone Sprache zeigt rasche Ermüdungserscheinungen. Das Schlucken ist erschwert. Durch eine Lähmung des Velums kommt es zum offenen Näseln. Laryngeale Symptome sind erst in fortgeschritteneren Krankheitsstadien nachweisbar. Stroboskopische Untersuchungen zeigten zentral bedingte Störungen im Schwingungsmechanismus der Stimmlippen. Ihre Adduktion ist behindert, oft tritt ein mehr oder weniger starker Tremor auf. Aus dem mangelnden Stimmritzenschluß resultieren Heiserkeit und Aphonie. Die Stimme klingt leise und kraftlos (BÖHME).

III. Vorbemerkungen zur Stimmerzeugung

a. Zur Geschichte der Phoniatrie

Erste Untersuchungen über die Stimmerzeugung gehen auf ARISTOTELES und GALEN zurück. GALEN kennt weitgehend die Anatomie des Kehlkopfes und die Wirkungsweise der Muskulatur. Er vergleicht den Kehlkopf und die in ihm liegenden Stimmlippen mit der Zunge einer Flöte und schreibt, daß die Stimme nur durch die Verengung der Stimmritze entstehen könne. Außerdem erkennt er bereits die Bedeutung der an den Larynx angrenzenden Weichteile für die Tonbildung.

Trotz großer Fortschritte in der Anatomie und Physiologie gibt es in der darauffolgenden Zeit keine neuen Erkenntnisse in der Phoniatrie. Erst im 18. Jahrhundert lebt diese Wissenschaft auf.

ANTOINE FERRAIN, der als der eigentliche Begründer der experimentellen Stimmphysiologie bezeichnet werden kann, betrachtet den Kehlkopf mit den Stimmlippen als Saiteninstrument; die Tonhöhe sei von der Spannung der Stimmlippen abhängig. Er prägt den Begriff der "Cordes vocales".

Wesentliche Erkenntnisse bringen auch die Untersuchungen von JOH. MÜLLER am präparierten Kehlkopf.

Die größten Fortschritte aber gewinnt MANUEL GARCIA, der als der "Kolumbus der Stimme" bezeichnet wird. Er untersucht als erster die Tätigkeit des Kehlkopfes am Lebenden. Mit einem zahnärztlichen Spiegel blickt er in das Kehlkopfinnere und beobachtet die Stimmlippen während der Einatmung, der Stimmgebung und während besonderer Singarten.

Der Prager Physiologe JOH. CERMAK entwickelt die gebräuchlichen Spiegel weiter und verwendet schließlich den durchbohrten Konkavspiegel. Von ihm stammt auch die Bezeichnung "Laryngoskopie".

Diese Entdeckungen geben den Anstoß zu zahlreichen weiteren Untersuchungen, und es dauert nicht mehr lange, bis die ersten wissenschaftlich fundierten Theorien zur Stimmerzeugung entstehen.

b. Theorien zur Stimmerzeugung

1. Die klassische musculo-elastische Theorie

Die klassische Theorie erklärt die Stimmerzeugung damit, daß die elastischen Stimmlippen ein selbstgesteuertes Vibrationssystem bilden. Sie sind durch das Zentralnervensystem eingestellt und werden von einem bestimmten Atemvolumen mit einem bestimmten Druck bewegt. Diese Bewegung folgt den Stromliniengesetzen von BERNOULLI, d. h. die Stimmlippen werden nicht nur auseinandergetrieben, sondern in gleicher Weise auch wieder zusammengeführt.

LINDEMANN sieht den n. laryngeus cranialis als die wahrscheinlich afferente Bahn eines proprioreceptiven Reflexionsmechanismus an, den n. laryngeus caudalis als die dazu gehörende efferente Bahn.

R. HUSSON bestätigte 1950 in einem eindrucksvollen Selbstversuch die wichtige Rolle des n. laryngeus cranialis. Nach der Gabe von Cocain konnte die Kopfstimme nicht mehr gebildet werden, das sogenannte "gedeckte Singen" gelang nur mühsam.

1958 fand K. PAULSEN, daß im m. vocalis nur sehr wenige Muskelspindeln enthalten sind und lehnte daher eine wesentliche Unterstützung der Phonation durch den Muskel über einen proprioreceptiven Reflexmechanismus ab. Die Muskelspindeln kontrollieren nach seiner Meinung lediglich den Spannungszustand innerhalb gewisser Grenzen; die Phonation könne ohne Rezeptoren sogar besser ablaufen. Die Steuerung der Spannung der Stimmlippen erfolge also überwiegend zentral. Die in der Larynxschleimhaut zahlreich vorhandenen Rezeptoren könnten jedoch über einen polysynaptischen Reflexbogen die Vorgänge im Larynxbereich kontrollieren und regeln.

2. Die neuro-chronaxische Theorie

Sie wurde 1950 von R. HUSSON aufgestellt und besagt, daß die Schwingungserzeugung nicht selbstgesteuert ist, sondern daß die Schwingungen "coup par coup" vom Zentralnervensystem hervorgerufen werden. Dies geschehe durch Aktionspotentiale, die über den n. recurrens den m. vocalis in der gleichen Frequenz wie die erzwungene Stimmlippenschwingung (und damit wie der erzeugte Grundton) erreichen. Der Stimmritzenschluß erfolge durch elastische Entspannung des m. vocalis. Der subglottische Druck vergrößere lediglich die Öffnungsamplitude.

Zahlreiche Autoren lehnten diese Theorie nach sorgfältiger Überprüfung ab: J. VAN DEN BERG, M. HAST, V. NEGUS, B. VALLANCIEN, D. WEISS, F. WUSTROW u. a.

K. MÜNDNICH (1958) und L. RUEDI (1959) konnten mit Zeitdehnerfilmen zeigen, daß die Schwingungen der Stimmlippen mit dem Versiegen des Luftstromes aufhörten.

Der Kehlkopf wird demgemäß angesehen als ein selbstgesteuertes Vibrationssystem mit einem Dämpfungsfaktor,

das durch den Druck unterhalb der Stimmritze in erzwungener Schwingung gehalten wird. Dieser Druck schwankt bei jeder Schwingung entsprechend dem Öffnen und Schließen der Stimmritze.

Über den n. recurrens steuert das Nervensystem Veränderungen der Stimmlippenstellung durch wechselnde Spannung des Stimmlippenmuskels.

c. Anatomische und akustische Grundlagen der Stimmgebung

Das an der Mundöffnung abgestrahlte, in seiner Struktur sehr komplizierte Sprachsignal kommt durch zwei Vorgänge zustande, die simultan verlaufen und untrennbar miteinander verbunden sind: der Sprachschallerzeugung (Phonation) und der Sprachschallmodifikation (Artikulation).

Das Ansatzrohr wirkt dabei wie ein akustisches Filter, das durch die jeweilige Stellung der "Sprechwerkzeuge" bestimmt wird (VIEREGGE). Die Bewegungsabläufe dieser Sprechwerkzeuge bei der Sprachschallerzeugung und -modifikation sind sehr komplexer Natur, weshalb Störungen von Stimme und Sprache als Summationsleistungen zahlreicher Faktoren zu verschiedenen Änderungen des "physiologischen Stimm- und Sprachmusters" führen können.

Man kann Sprache bezeichnen als die Aufeinanderfolge in bestimmter Weise geordneter und geformter stimmlicher Äußerungen. Dabei erfährt die Tonhöhe eines Vokals ihre Änderung durch den Kehlkopf, der mit seinen Stimmlippen den Luftstrom periodisch freigibt, während der Vokal selbst durch das Ansatzrohr bestimmt wird.

Wenn der subglottische Druck die Elastizität der Stimmlippen überwiegt, werden diese auseinandergetrieben,

und die Luft strömt durch den vorhandenen Spalt. Dadurch verringert sich der subglottische Druck wieder, schließlich überwiegt die elastische Kraft der Stimmlippen, und diese schließen die Stimmritze. Die durch die Stimmritze streichende Luft wird durch diesen Mechanismus in Schwingungen versetzt.

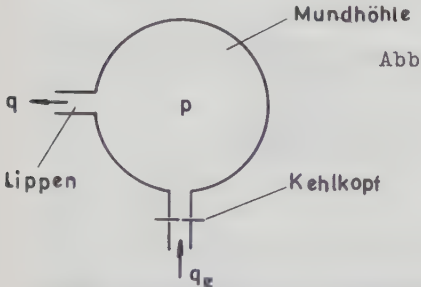


Abb. 1: Schema zur Vokalerzeugung (nach CREMER)

p = Druck in der Mundhöhle
q_e = erregender Schallfluß
q = abgestrahlter Schallfluß

CREMER vergleicht die Mundhöhle mit einem Hohlraum, in dem überall gleicher Schalldruck herrscht, und die von den Lippen gebildete Mundöffnung mit einem kurzen Rohr (Abb. 1). Sie ist mit einem schwingungsfähigen Medium - Luft - angefüllt und von schwingungsfähigen Wänden umgeben. CREMER reduziert damit das Ansatzrohr auf das Modell des HELMHOLTZ-Resonators (Massen und Federung bestehen dabei aus einem luftgefüllten Raum) und zeigt, daß es im weitesten Sinn ein einfaches Schwingungssystem darstellt. Der Schallfluß (das Produkt aus dem Querschnitt und der durchtretenden Schnelle) wird von den Stimmlippen gesteuert und hat annähernd den Verlauf kurzer dreieckiger Stöße (Abb. 2).

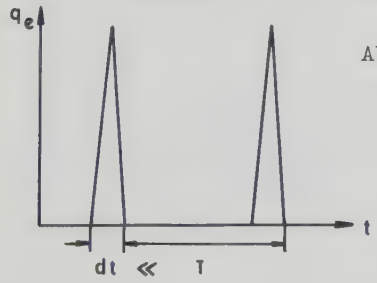


Abb. 2: Zeitverlauf des erregenden Schallflusses (nach CREMER)

q = erregender Schallfluß
T = Periodendauer
dt= Stoßzeit

Ein Stoß löst bei einem gedämpften Schwinger eine gedämpfte Eigenschwingung aus, die man als "Stoßantwort" bezeichnen kann. Da bei der Stimmgebung die Stöße periodisch mit der Stimmbänderfrequenz erfolgen, bezeichnet CREMER die Stoßantworten als "Vokalpuls" (Abb. 3).

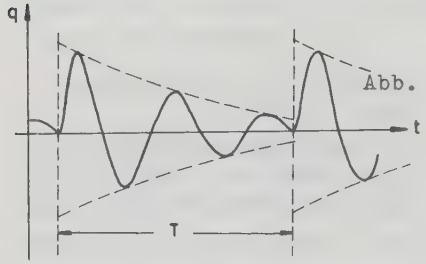


Abb. 3: Zeitverlauf des Vokalpulses (nach CREMER)

q = Schallfluß
T = Periodendauer

Ermittelt man das akustische Spektrum von gesungenen oder gesprochenen Tönen, wird deutlich, daß wir es bei der menschlichen Stimme stets mit komplizierten Schwingungen zu tun haben. Nach der Theorie des französischen Mathematikers FOURIER läßt sich jedoch jede periodisch wiederholende komplizierte Kurve in einfache Sinusschwingungen verschiedener Frequenz und Amplitude zerlegen (Abb. 4).

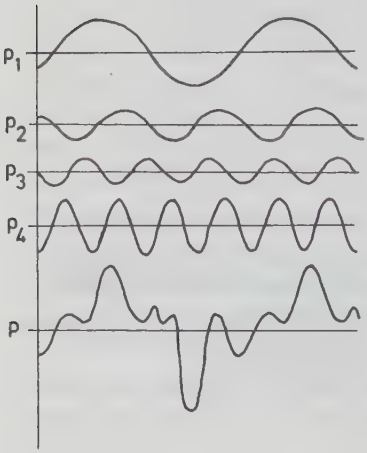


Abb. 4: Zusammengesetzte Schwingungen des Luftdruckes p, entstanden durch Überlagerung von vier Sinuswellen p_1 - p_4, deren Frequenzen im Verhältnis 1:2:3:4 stehen (nach LUCHSINGER-ARNOLD)

Dieses o. g. Spektrum erfährt infolge des Durchganges durch das Ansatzrohr eine Amplitudenmodulation. Es zeigt einen resonanzartigen Verlauf, wobei der Resonanzgipfel im Bereich der erregenden Frequenz liegt (Abb. 5).

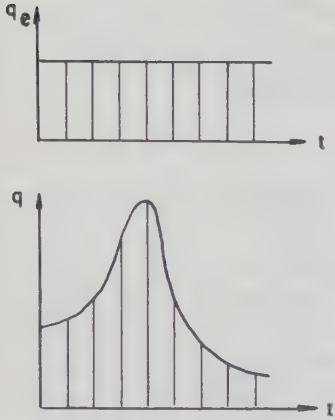


Abb. 5: Spektren zur Vokalerzeugung (nach CREMER)

a) Amplitudenspektrum des erregenden Nadelpulses
b) Amplitudenspektrum des Vokalpulses

t = Zeit
q_e = erregender Schallfluß
q = Vokalpuls

Abb. 6 zeigt den Spektralverlauf am Beispiel des Vokals a. Die Partialtöne stehen in einem ganzzahligen Verhältnis zum Grundton (Satz nach FOURIER). Die Lage der Resonanzgipfel ist für jeden Vokal charakteristisch. Die entsprechenden Frequenzbereiche mit Energieanhäufungen auf Grund maximaler Resonanzen bezeichnet man als die Formantbereiche der Vokale.

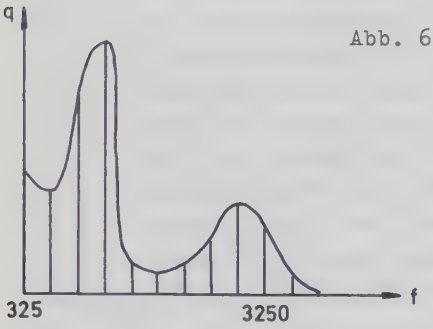


Abb. 6: Linienspektrum einer Sopranstimme; Vokal a; gesungen auf e^1 = 325 Hz; 11 Teiltöne (nach LUCHSINGER-ARNOLD)

f = Frequenz in Hz
q = Schwingungsamplitude

Wenn man sich auch für akustische Untersuchungen das Ansatzrohr glatt und gestreckt vorstellen kann, soll doch nicht vergessen werden, daß es in Wirklichkeit ein kompliziert veränderbaren Hohlraumsystem darstellt (Abb. 7).

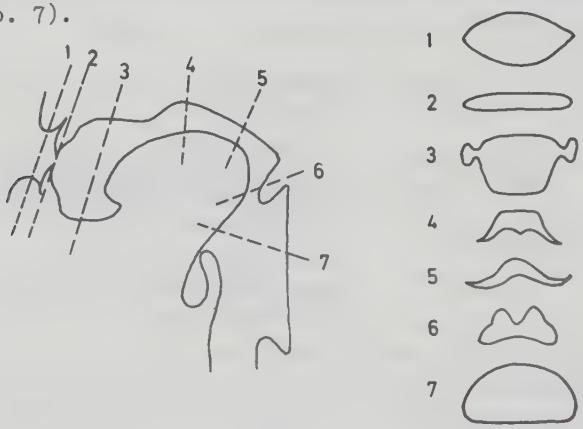


Abb. 7: Konfiguration des Ansatzrohres bei verschiedenen Querschnittsstellen (1-7) bei Artikulation des Vokals i. (nach LUCHSINGER-ARNOLD)

Das Ansatzrohr wird gebildet von der Mundhöhle mit ihren Organteilen sowie der äußeren Zungenmuskulatur, dem Rachenraum, der Nase und ihren Nebenhöhlen sowie der äußeren Gesichtsmuskulatur. Die Konfiguration ist für jeden Vokal charakteristisch. Neben dem Velum spielt vor allem die Zunge eine wichtige Rolle bei der Artikulation. Sie bildet das motorische Element der Vokalmodulation (LUCHSINGER). Sie erfüllt diese Aufgabe nicht nur durch ihre große Beweglichkeit und Fähigkeit zu Formveränderungen, sondern auch durch ihre Verbundenheit mit den Stellungsänderungen des Kehlkopfes und dem Gaumensegel (Abb. 8).

Abb. 8: Konfigurationen des Ansatzrohres bei Phonation der Vokale (nach LUCHSINGER-ARNOLD)

d. Die Rolle der Atmung bei der Stimmgebung

Der Atmung kommt bei der Stimmgebung große Bedeutung zu, da es ohne Atmung auch keine Stimme geben kann. Den Atmungsvorgang, bei dem es zur Bildung von Stimme und von Lauten kommt, nennt man daher auch Phonationsatmung. Sie unterscheidet sich von der Ruheatmung dadurch, daß ihre Inspirationsphase relativ kurz ist, wohingegen die Exspiration beim Sprechen länger und unregelmäßiger verläuft. Bei Vokalen verläuft die Exspirationskurve im Regelfall glatt.

Die Exspirationsluft soll bei der Phonation sanft und gleichmäßig von den unteren Partien des Lungenraumes aus abfließen und ohne merkbaren Überdruck gegen die Stimmlippen geführt werden (v. ESSEN). Der Ausatmung, möglichst bis in Ruhestellung, soll eine kurze Pause folgen. Falsch wäre es, die eingeatmete Luft nicht bis zur Ruhelage des Atmungsorganismus zu verbrauchen, da dieser sonst unter einem andauernden Spannungszustand stünde, was sehr bald zu Ermüdungserscheinungen führen würde. COBLENZER und MUHAR fanden bei Untersuchungen, daß die Stimmgebung optimal ist, die sich dem Atmungsrhythmus anpaßt. Sie führt dann zur Bildung der Harmonischen, zu Geräuschlosigkeit und zu schneller Luftentfernung. Eine derartige Phonation ist zwar anlagemäßig vorhanden, geht aber bei vielen Menschen durch

exogene und endogene Störfaktoren verloren.

Interessant bei Untersuchungen ist das Verhältnis von ausgeatmeter Luft pro Phonationszeit, der sogenannte Durchschnittsluftverbrauch. Er steigt mit wachsender Phonationsstärke und sinkt mit zunehmender Tonhöhe und wachsendem Öffnungsgrad des Vokals, sofern die Lautstärke gleich bleibt (v. ESSEN).

ROUDET erkannte bereits 1900, daß der subglottische Druck abhängt von der Geschwindigkeit der Brustkorbbewegung, von Form und Weite des Ansatzrohres und von den Bewegungen des Kehlkopfes.

Pathologische Veränderungen des subglottischen Druckes bzw. der Phonation überhaupt können entstehen durch Störungen im Atmungsapparat oder außerhalb desselben, durch Verspannung der Muskulatur, durch unzweckmäßige Bewegungen und unzweckmäßige Körperhaltung, durch pathologische Atemführung sowie durch Störungen in der Korrelation von Zwerchfell- und Brustatmung. Die Gründe für ein derartiges Fehlverhalten wiederum können z. B. Veränderungen im Zentralnervensystem sein.

e. Das Regelverhalten bei der Stimmgebung

Bei Spektralanalysen der Stimme zeigt sich, daß alle Parameter (Tonhöhe, Lautstärke, Klangfarbe) nicht konstant gehalten werden, sondern zumindest innerhalb geringer Grenzen schwanken. Der Grund hierfür liegt in der selbsttätigen Regelung der an der Phonation beteiligten Komponenten.

1. Regelung des Betriebsdruckes

Die Glottis wirkt wie ein Ventilwiderstand. Der Druck der aus der Lunge entweichenden Luft kann während des Ausströmens zum Beispiel durch die Atemhilfsmuskulatur verändert werden. Der Druck an der Glottis schwankt jedoch gering, gleichgültig, ob ruhig gesprochen oder laut geschrieen wird (LUCHSINGER-ARNOLD).

2. Der mechanisch-pneumatische Regelkreis

Er kontrolliert die Umwandlung von gleichmäßig strömender Luft in unterbrochene Luftströme. Dies geschieht durch proprioreceptive Muskelspindeln in den Stimmlippen, die in histologischen Untersuchungen festgestellt werden konnten. Sie melden Druckveränderungen nach der Zeit (dp/dt) an das Zentralnervensystem (LUCHSINGER-ARNOLD).

3. Der cochleo-recurrentielle Regelkreis

Er übt die auditive Kontrolle des gesprochenen Wortes oder des Gesanges aus. Es handelt sich hier aber nicht um eine reine Regelung, vielmehr ist, zumindest am Beginn des Sprechens oder Singens, ein bewußter Einfluß im Sinne einer Steuerung zu verzeichnen (LUCHSINGER-ARNOLD).

Überhaupt lassen sich bei der Phonation Regelung und Steuerung kaum streng voneinander trennen, sondern treten zumeist kombiniert auf.

Ganz allgemein unterliegen unbewußte Vorgänge einer Regelung, bewußte Vorgänge dagegen werden eher durch Steuerung bestimmt. Auf die Phonation übertragen bedeutet dies, daß das Sprechen, das ja weitgehend unbe-

wußt geschieht, vorwiegend ein Regelungsproblem darstellt. Das Singen als ein mehr oder weniger bewußtes phonatorisches Gestalten wird ein zusammengesetzter Vorgang aus Steuerung und Regelung sein.

IV. Neuere Methoden der Stimmregistrierung

Bis etwa 1940 fanden in der Phoniatrie vorwiegend mechanisch-pneumatische Meßgeräte Verwendung, deren Zuverlässigkeit zum Teil recht fragwürdig war. Die Entwicklung der elektronischen Meßtechnik brachte eine wesentliche Verbesserung der Meßverfahren und vor allem der Meßgenauigkeit. Dieser Tatsache verdankt die Phoniatrie ihren großen Aufschwung in den letzten beiden Jahrzehnten.

Im folgenden sind die heute gebräuchlichsten Methoden der Stimmregistrierung skizziert.

a. Die Tonfrequenzspektralanalyse (CREMER)

Das Tonfrequenzspektrometer ermöglicht eine Teiltonanalyse für alle Frequenzen gleichzeitig. Das Spektrum wird auf dem fluoreszierenden Schirm einer Braun'schen Röhre sichtbar gemacht. Die Partialtonfrequenzen sind auf der Abszisse, die Amplitude auf der Ordinate eines Koordinatensystems dargestellt. Die Analyse erfolgt in einer für jedes Gerät spezifischen Filterbreite von einer Viertel- bis Dritteloktave. Nachteile: Die Filter überlappen sich teilweise, was dieses Gerät für differenzierte Stimmuntersuchungen ungeeignet macht. Die zeitlich fortlaufenden Spektren müssen für die Klanganalyse gefilmt oder photographiert werden, was mit weiteren Fehlermöglichkeiten verbunden ist.

b. Die Suchtonanalyse (CREMER)

Da dieses Verfahren ein Bestandteil der Sonagraphie ist, sei es etwas ausführlicher beschrieben.

Der zu untersuchende Klang wird mit einem konstant breiten Filter abgetastet. Dabei wird einem gesuchten Ton $A \cdot \cos\Omega t$ ein suchender Ton $a \cdot \cos\omega t$ überlagert.

Quadriert man die Summe aus diesen beiden Schwingungen gemäß der Gleichung

$$(A \cdot \cos\Omega t + a \cdot \cos\omega t)^2 = \frac{A^2}{2}(1 + \cos 2\Omega t) + \frac{a^2}{2}(1 + \cos 2\omega t) +$$

$$+ Aa\left[\cos(\Omega+\omega)t + \cos(\Omega-\omega)t\right],$$

entstehen neben gleichen Gliedern und Tönen der doppelten Frequenz ein Summen- und ein Differenzton, die man mit dem konstanten Filter herausheben kann. Bei Variation der Suchtonfrequenz passiert jede enthaltene Frequenz, und damit jeder Teilton des Klanges, einmal dieses Filter. Die Intensität der Partialtöne wird durch den Ausschlag eines Galvanometers angezeigt, der proportional der Intensität wächst (Abb. 9).

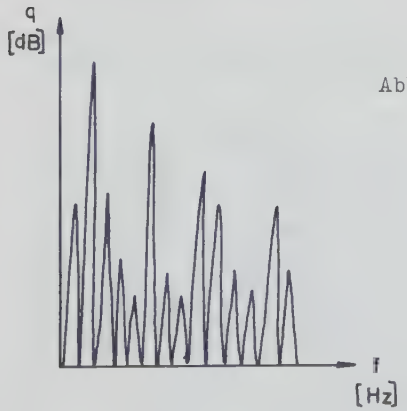


Abb. 9: Suchtonanalyse eines Klanges (schematisch)

f = Frequenz
q = Amplitude

c. Das Visible-Speech-Verfahren

Es wurde von R. K. POTTER in den USA entwickelt und ist derzeit wohl die vollkommenste Methode der Stimmregistrierung. Der Fortschritt besteht darin, daß der zeitliche Verlauf des analysierten Vorgangs als dritte Dimension aufgezeichnet wird, was eine erleichterte und vor allem exaktere Analyse bedeutet. Ausführlich ist dieses Verfahren in Kapitel C/I/c beschrieben.

C. Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen

I. Verwendete Apparaturen

a. Tonbandgerät und Richtmikrophon

Die Stimmen wurden über ein Richtmikrophon (ALTEC Lambing 68 1A) mit einem hochwertigen Tonbandgerät (REVOX high fidelity) aufgenommen. Die Speicherung auf Band machte spätere auditive Vergleiche und Kontrollen mit den Sonagrammen möglich.

b. Lautpegelmesser

Zur Einhaltung einer konstanten Lautstärke verwandten wir einen Lautpegelmesser (ROHDE & SCHWARZ, Type EZGN-BN 4303). Dieses Gerät besteht aus einem Mikrophon, einem Verstärker und einem Voltmeter, dessen Anzeige in Phon geeicht ist.

c. Sonagraph

Zur Anwendung kam ein Sonagraph der KAY ELECTRIC Cie., Type 6061-B Sound Spectrograph.

Mit dem Sonagraphen ist es möglich, die Stimme in einem Arbeitsgang in Bezug auf drei Komponenten zu untersuchen: den zeitlichen Ablauf, die Frequenz und die Intensität des Spektrums. Außerdem können "Sections" gewonnen werden, d. h. ein genauer zu untersuchender Frequenzabschnitt kann isoliert und gedehnt dargestellt werden. Er wird dadurch gleichsam "vergrößert" dargestellt.

Auf einer zylindrischen "Magnetscheibe" wird der zu analysierende Vorgang zunächst gespeichert. Dem Aufnahmekopf, der während der anschließenden Analyse als Wiedergabekopf dient, ist ein Löschkopf vorgeschaltet, der verhindert, daß mehr als ein Schallvorgang auf der Scheibe gespeichert wird. Die Aufnahmedauer kann wahlweise 1,2 oder 2,4 Sekunden betragen. Im ersten Fall ist eine Aufzeichnung im Bereich von 160 - 16000 Hz möglich, im zweiten von 80 - 8000 Hz. Wir verwandten ausschließlich die längere Aufnahmedauer, da sich alle sprachwichtigen Vorgänge im Bereich unterhalb 8000 Hz abspielen.

Bei der Untersuchung wird der gespeicherte Vorgang von einem Suchtonanalysator so oft abgetastet, bis die höchste, bei unserem Gerät variabel einstellbare, Frequenz erreicht ist. Die Magnetscheibe rotiert dabei wesentlich schneller als bei der Aufnahme; eine Aufzeichnung dauert ungefähr fünf Minuten.

Die Aufzeichnung geschieht durch ein Verfahren, das von der Faksimile-Übertragung abgeleitet ist. Auf eine zur Magnetscheibe koaxiale Trommel wird ein geschwärztes, mit einer dünnen Wachsschicht überzogenes Papier gespannt. Eine Schreibelektrode, die dem Papier leicht aufliegt und von einer rotierenden Schneckenspindel entlang der Frequenzachse gleichmäßig vorwärtsbewegt wird, brennt den hellen Überzug mehr oder weniger weg, abhängig von dem am Ausgang des Suchtonanalysators auftretenden Strom und damit proportional der jeweiligen Sprachintensität. Auf diese Weise entsteht ein Klangspektrum mit seiner zeitlichen Veränderung als Hell-Dunkel-Schraffur. Bei dem für die Untersuchungen verwendeten Gerät gibt es sieben Schwärzungs- bzw. Intensitätsgrade, wobei der Unterschied zwischen zweien jeweils sieben Dezibel beträgt. Bei Sprachgesunden sollen alle sieben Schwärzungsgrade sichtbar sein.

II. Beschreibung der Sonagramme

Die Sonagramme bestehen aus einem geschwärzten Papier, das von einer dünnen weißen Wachsschicht überzogen ist. Die Wachsschicht wird bei der Aufnahme entsprechend der jeweiligen Teiltonintensität abgebrannt (s. o.).

Es gibt drei Möglichkeiten der Aufzeichnung. Die eine bildet die Frequenzen als harmonische Töne, gegebenenfalls mit dazwischenliegenden Geräuschen ab, sie ist nach zeitlichen Aspekten aber unscharf.

Eine Weiterentwicklung dieser Schreibweise stellt das Voice-Print-Verfahren nach KERSTA dar (Abb. 10).

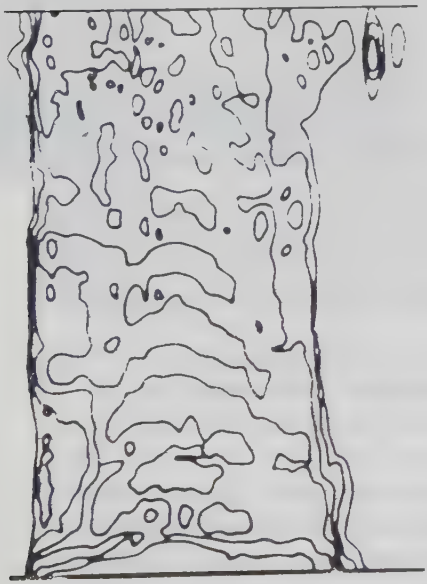


Abb. 10:
Voice-Print-Verfahren nach KERSTA
Sonagramm des englischen Wortes "you" (nach LUCHSINGER-ARNOLD)

Es zeichnet ein landkartenähnliches Bild, das dadurch entsteht, daß Bereiche gleichen Energieinhalts, die sich im erstgenannten Verfahren nur durch wenig differenzierte Schwärzungsgrade unterschieden, durch schwarze Konturlinien exakt umschrieben werden. Diese sonagraphischen Bilder sind für jeden Menschen charakteristisch und sind geeignet, forensische Untersuchungen zu unterstützen.

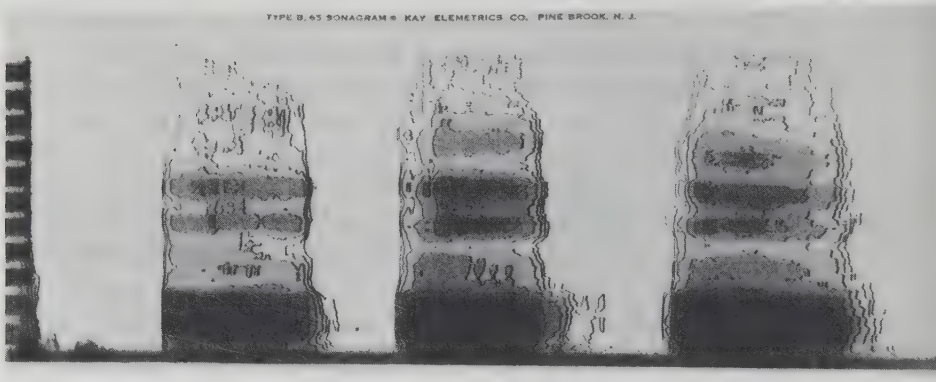


Abb. 11: Sonagramm eines Dreiklangs mit dem Vokal "a", gesungen von einem Sprachgesunden
Ausgangston: d

Abbildung 11 zeigt ein Normalsonagramm des Vokals "a", aufgezeichnet mit jenem Verfahren, das auch bei den pathologischen Fällen zur Anwendung kam. Es läßt eine dreidimensionale Aufzeichnung erkennen. Auf der horizontalen Achse erscheint die Zeit, auf der vertikalen die Frequenz. Die Amplitude wird durch verschiedene Schwärzungsgrade angegeben. Bereiche gleicher Energie erscheinen also als Felder gleicher Schwärzung.

Die Sonagramme sind von einer bestimmten Eichfrequenz

begrenzt. Die Breite eines "Balkens" des Kalibiertones entspricht 500 Hz. Die oberste Frequenzgrenze liegt bei ca. 5500 Hz. Bei einem Teil unserer Aufzeichnungen analysierten wir bis 8000 Hz, ohne jedoch zu neuen Erkenntnissen zu kommen.

III. Versuchsanordnung und Durchführung

Die Versuchsanordnung bestand aus den oben genannten Geräten gemäß Abbildung 12.

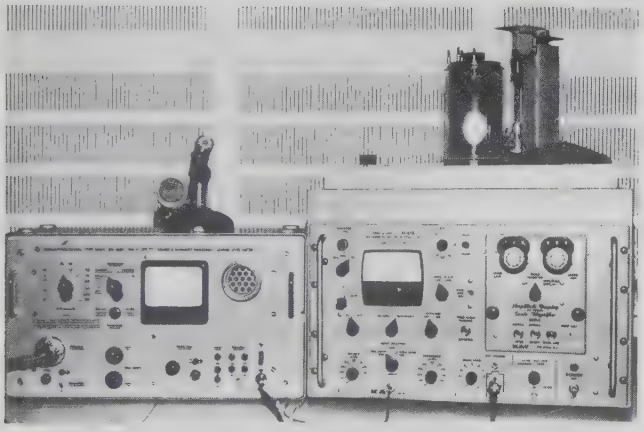


Abb. 12 zeigt den Sonagraphen, den Lautpegelmesser und das Richtmikrophon

Der Gesang wurde auf Tonband bei einer Laufgeschwindigkeit von 19cm/sec aufgenommen. Die Lautstärke betrug dabei 75 Phon, Abweichungen wurden so gering wie möglich gehalten. Der Abstand der Patienten zum Mikrophon war mit 50 cm konstant. Die Aufnahmen waren nicht über-

steuert.

In einem zweiten Arbeitsgang wurden die so aufgenommenen Stimmen auf die Magnetscheibe des Sonagraphen überspielt. Auch hierbei wurde stets die gleiche Lautstärke eingehalten.

Die Schwierigkeiten bei den durchgeführten Untersuchungen waren zum einen organisatorisch-technischer Natur, zum anderen durch die Erkrankungen der Patienten selbst bedingt.

Um zu einwandfreien Ergebnissen zu kommen, konnten wir nur Patienten mit zweifelsfreier Diagnose untersuchen. Außerdem schlossen wir Patienten aus, bei denen psychische Affektionen einen bestimmten Grad überschritten hatten und rein organisch bedingte Stimmstörungen zu überlagern drohten. Wie streng die Auswahl getroffen wurde, zeigt sich daraus, daß in den von uns besuchten Kliniken und Anstalten von ca. 1500 Patienten nur etwa 70 ausgewählt wurden. Eindeutige Fälle von Syringobulbie und amyotropher Lateralsklerose hatten wir nicht, von Morbus Wilson, Tabes dorsalis, Suprabulbärparalyse und spinocerebellärer Heredoataxie jeweils nur einmal.

Relativ wenige Patienten wollten sich nicht untersuchen lassen. Dagegen entwickelten einige auf Grund ihrer neurologischen und psychiatrischen Befunde Aggressionen beim Anblick der Geräte oder reagierten mit Verschüchterung, wodurch Aufnahmen nicht möglich wurden.

Bei den Untersuchungen selbst ergaben sich Schwierigkeiten daraus, daß nur ein Teil der Patienten in der Lage war, einen Dreiklang zu singen. Anfangs gaben wir mit einer "Melodica" die Tonhöhe an, jedoch ohne Erfolg in Bezug auf exaktes Nachsingen. Als wir daraufhin vor-

sangen, waren die Patienten auch nach längerem Üben bis auf acht Ausnahmen nicht in der Lage, die Tonhöhe zu treffen. Außerdem sangen sie teilweise alle drei Töne gleich hoch oder hoch-tief-hoch. Interessant war, daß dieses melodische Unvermögen verhältnismäßig gering war bei Patienten, die angaben, früher unmusikalisch gewesen zu sein. Andererseits waren früher gute Sänger jetzt nicht mehr in der Lage, den Dreiklang nachzusingen. Hieraus zogen wir den Schluß, daß diese Störungen durch die Erkrankung bedingt sein könnten. Es wäre daher nicht sehr zweckmäßig gewesen, bei fehlender gemeinsamer Ausgangsbasis bei den Untersuchungen das Hauptgewicht auf reine Frequenzanalysen zu legen, zumal deutliche Symptome in Bezug auf energetische und kinetische Abläufe sofort überaus deutlich auffielen.

Die Stimmen waren zum Teil sehr leise. Da wir andererseits auf die Einhaltung einer bestimmten Lautstärke achten mußten, war bisweilen längeres Üben erforderlich. Auch waren die Patienten zumeist nicht in der Lage, die vorgegebene Singdauer einzuhalten.

Schwierigkeiten ergaben sich auch daraus, daß bei einigen Patienten (vor allem mit Chorea-Syndrom) das Singen von krankheitsbedingten, nicht abstellbaren Nebengeräuschen auf Grund des Zitterns der Extremitäten überlagert wurde. Mehrere Aufnahmen gelangten auf diese Weise nicht zur Auswertung.

D. Eigene Untersuchungen mit Ergebnissen

Die Untersuchungen bestanden aus der Auswertung der Sonagramme und dem Vergleich mit Befunden von Gesunden.

Ergebnisse sind einmal graphische Darstellungen von Veränderungen, die durch Vermessen festgestellt werden konnten, zum anderen die rein deskriptive Erläuterung von zahlenmäßig nicht faßbaren Erscheinungen.

Die Besprechung erfolgt nach Krankheiten getrennt.

I. Multiple Sklerose

Untersucht wurden 25 Patienten. Davon waren 15 Männer (60%) und 10 Frauen (40%).

a. In Bezug auf die Phonationsenergie konnten wir erhebliche Abweichungen von Normalpersonen feststellen. So erreichten nur wenige Patienten die bei Gesunden immer vorhandene 7. Energiestufe von 49 dB; meistens waren es 6, in schweren Fällen nur 5 Stufen.

   Besonders deutliche Abweichungen ergaben sich bei den Vokalen a, e, i im Bereich des 3. Formanten und darüber, wo unsere Patienten nur 4 bis 5, in schweren Fällen sogar nur die 3. Energiestufe erreichten. Die Vergleichsaufnahmen der Vokale o und u zeigten in den genannten Bereichen kaum Energie. Dagegen zeigten unsere Patienten bei diesen Vokalen auch im oberen Frequenzbereich Energiefelder bis zum 3. Schwärzungsgrad, der von den Sprachgesunden nur extrem selten erreicht wurde. Es waren also mehr Obertöne vorhanden.

b. Ein Sonagramm des Vokals a, gesungen von einem Gesunden, zeigt, daß beim Einsetzen der Phonation in jedem Frequenzbereich Schwingungen auftreten (siehe Abbildung 11).

Bei unseren Patienten kommt im Frequenzbereich zwischen den Formanten zum Teil erst geraume Zeit nach Phonationsbeginn Schallenergie zur Darstellung, wodurch charakteristische Lücken im sonagraphischen Bild entstehen (Abbildung 13).

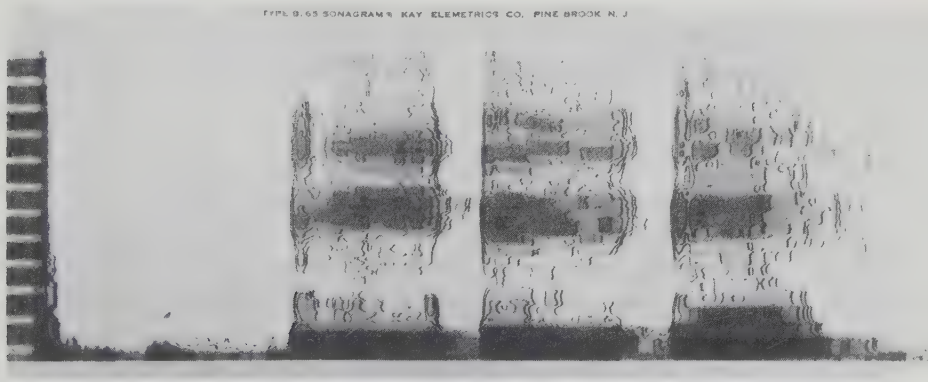


Abb. 13: Sonagramm des Vokals a, gesungen von einem Patienten mit Multipler Sklerose. Im Bereich zwischen den Formanten tritt erst verzögert Schallenergie auf. Ausgangston: g

Gemessen wurden die Lücken zwischen dem 2. und dem 3. Formanten.

Zur Auswertung gelangten 52 Bilder des Vokals a. Nur 14 zeigten keine oder gering angedeutete Lücken (26,9%). Die übrigen Messungen der Schallverzögerungen (also der Zeit vom Phonationsbeginn bis zum Auftreten von Schallenergie im genannten Frequenzbereich) ergaben

einen Mittelwert von $5{,}06 \cdot 10^{-2}$ sec, wobei Werte zwischen $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ sec und $18{,}75 \cdot 10^{-2}$ sec vorkamen.

c. Bereits optisch fällt auf, daß die höheren Energiestufen, wenn überhaupt erreicht, nur sehr kurze Zeit gehalten werden können. Es wurde die gesamte Phonationsdauer zur Dauer der 6. und 7. Energiestufe ins Verhältnis gesetzt.

1. Verhältnis der gesamten Phonationsdauer zur Dauer der 6. Energiestufe

Es ergaben sich folgende Mittelwerte:
Vokal a: 1,83; Vokal e: 1,73; Vokal i: 1,66;
Vokal o: 1,68; Vokal u: 1,65.

Abbildung 14 zeigt die graphische Darstellung dieser Werte im Vergleich zu den Verhältniszahlen von Normalpersonen. Wegen der großen Streubreite der Patientenwerte erhielten wir bei der Signifikanzrechnung nach der Formel

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (s_i - \bar{s})^2}{n-1}}$$

einen signifikanten Unterschied beider Zahlenreihen nach $\bar{\sigma}$ nur für die Vokale a und o.

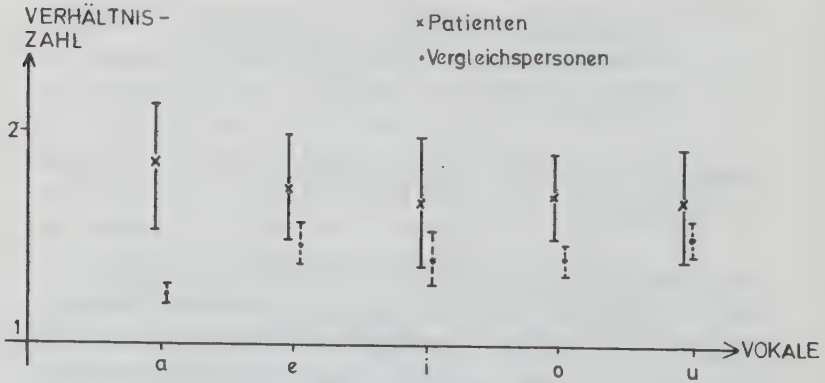


Abb. 14: Verhältnis der gesamten Phonationsdauer zur Dauer der 6. Energiestufe bei Patienten mit Multipler Sklerose und bei Gesunden, jeweils mit den Signifikanzgrenzen für $\bar{\sigma}$.

2. Noch deutlichere Unterschiede ergaben sich für die Verhältniszahlen der 7. Energiestufen.

Wir errechneten folgende Mittelwerte:
Vokal a: 2,84; Vokal e: 3,11; Vokal i: 3,05;
Vokal o: 3,55; Vokal u: 2,40.

Abbildung 15 zeigt diese Werte im Vergleich zu den Normalwerten. Auch hier ergab sich ein signifikanter Unterschied nach $\bar{6}$ für die Vokale a und o.

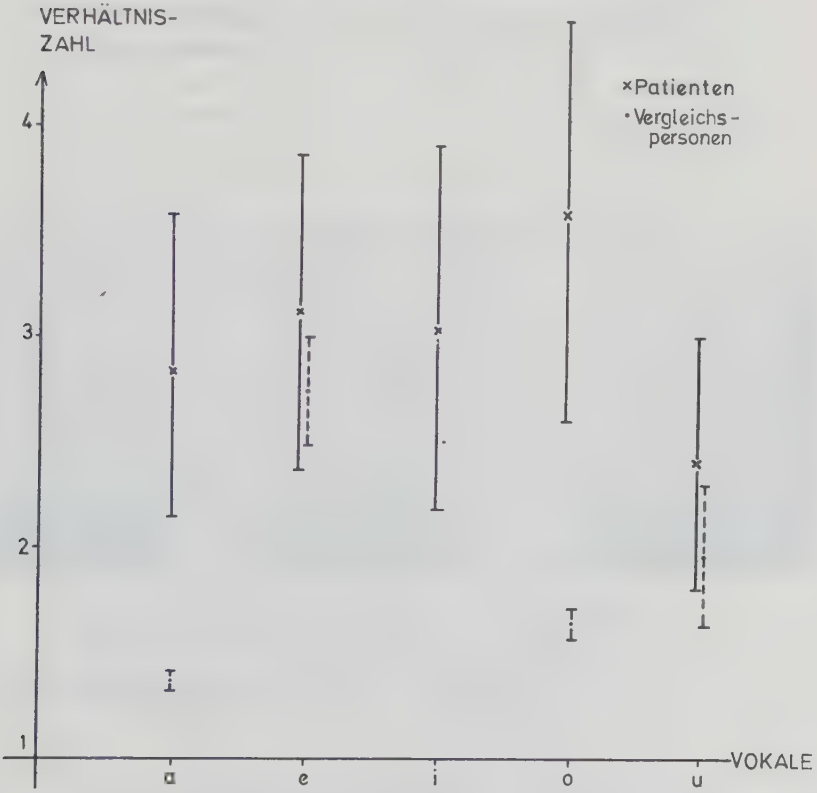


Abb. 15: Verhältnis der gesamten Phonationszeit zur Dauer der 7. Energiestufe bei Patienten mit Multipler Sklerose und bei Gesunden, jeweils mit den Signifikanzgrenzen für $\bar{6}$.

d. Die unter Absatz c gemessenen Zeiten für die Energiefelder entstanden durch die Summation einzelner Teilzeiten. Während das sonagraphische Bild von Gesunden, bezogen auf den Zeitablauf, durchgehende Energiebereiche aufweist (vergleiche Abbildung 11), sind die erhaltenen Patientensonagramme wesentlich inhomogener. Vor allem die höheren Intensitätsgrade können nur kurze Zeit gehalten werden, treten aber mehrmals auf (Abbildung 16). Es entsteht ein mehrmaliges, tremoloähnliches, intermittierendes Abwechseln hoher und niederer Energie. Diese Erscheinung ist mit dem Ohr als Vibrieren der Stimme schwerer wahrzunehmen.

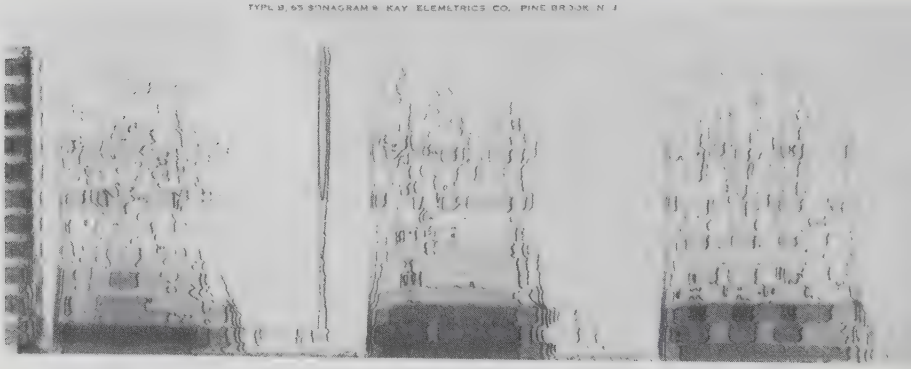


Abb. 16: Sonagramm eines Dreiklangs mit dem Vokal o, gesungen von einem Patienten mit Multipler Sklerose.
Vor allem die Bereiche höherer Energie weisen mehrere Unterbrechungen auf.
Ausgangston: c

e. Die Anklingzeiten der einzelnen Energiestufen waren bei den Patienten höher als bei den neurologisch gesunden Vergleichspersonen. Unter

Anklingzeit verstehen wir die Dauer vom Beginn der Phonation bis zum jeweiligen Einsetzen der einzelnen Energiestufen. Gemessen wurden die zeitlichen Intervalle zwischen denselben, also die Zeit vom Einsetzen der 1. Energiestufe bis zum Einsetzen der 2., vom Einsetzen der 2. Energiestufe bis zum Einsetzen der 3. usw.

Die folgenden Abbildungen 17 bis 21 zeigen die graphischen Darstellungen der ermittelten Anklingzeiten im Vergleich zu den Werten neurologisch Gesunder für die fünf Vokale.

Es wird erkenntlich, daß die Anklingzeiten unserer Patienten in ähnlicher Weise wie die der gesunden Kontrollpersonen zunehmen. Sie sind im allgemeinen nur leicht erhöht. Bei Patienten, deren Erkrankung uns mit "schwer" bis "sehr schwer" angegeben wurde, waren jedoch die Werte zum Teil wesentlich höher. Die Berechnung der Mittelwerte brachte eine gewisse Nivellierung mit sich. Wegen der großen Streubreite der Einzelwerte erhielten wir bei der Signifikanzrechnung nach der oben genannten Formel zunächst keinen signifikanten Unterschied der beiden Kurven.

Wurden jedoch die Extremwerte nicht in die Berechnung einbezogen (sowohl bei Patienten als auch bei Gesunden), ergaben sich signifikante Unterschiede nach $\bar{\sigma}$ bei den Vokalen a, e und i.

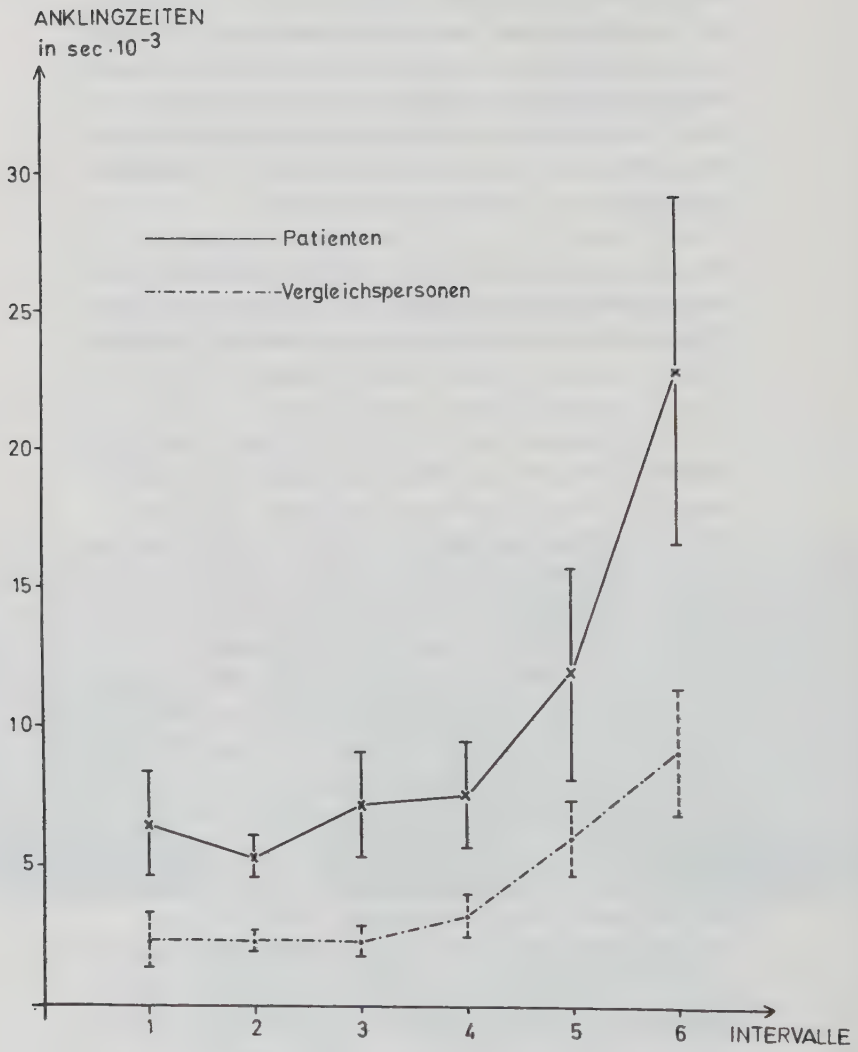


Abb. 17: Anklingzeiten der Energiestufen beim Vokal a im Bereich des 1. und 2. Formanten.
Die Werte der Patienten mit Multipler Sklerose sind von denen der Vergleichspersonen nach $\bar{\sigma}$ signifikant verschieden.

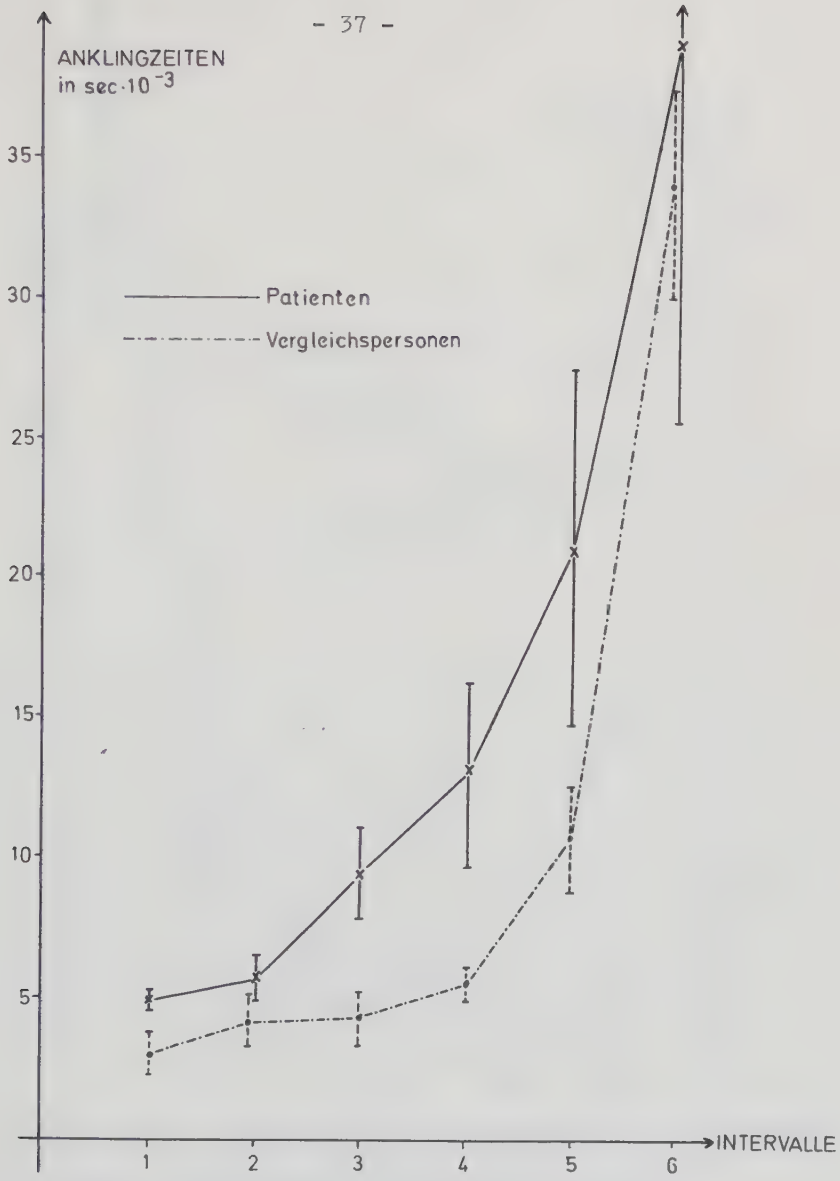


Abb. 18: Anklingzeiten der Energiestufen beim Vokal e im Bereich des 1. und 2. Formanten.
Die Werte der Patienten mit Multipler Sklerose sind von denen der Vergleichspersonen mit Ausnahme des 2. Intervalls nach $\bar{6}$ signifikant verschieden.

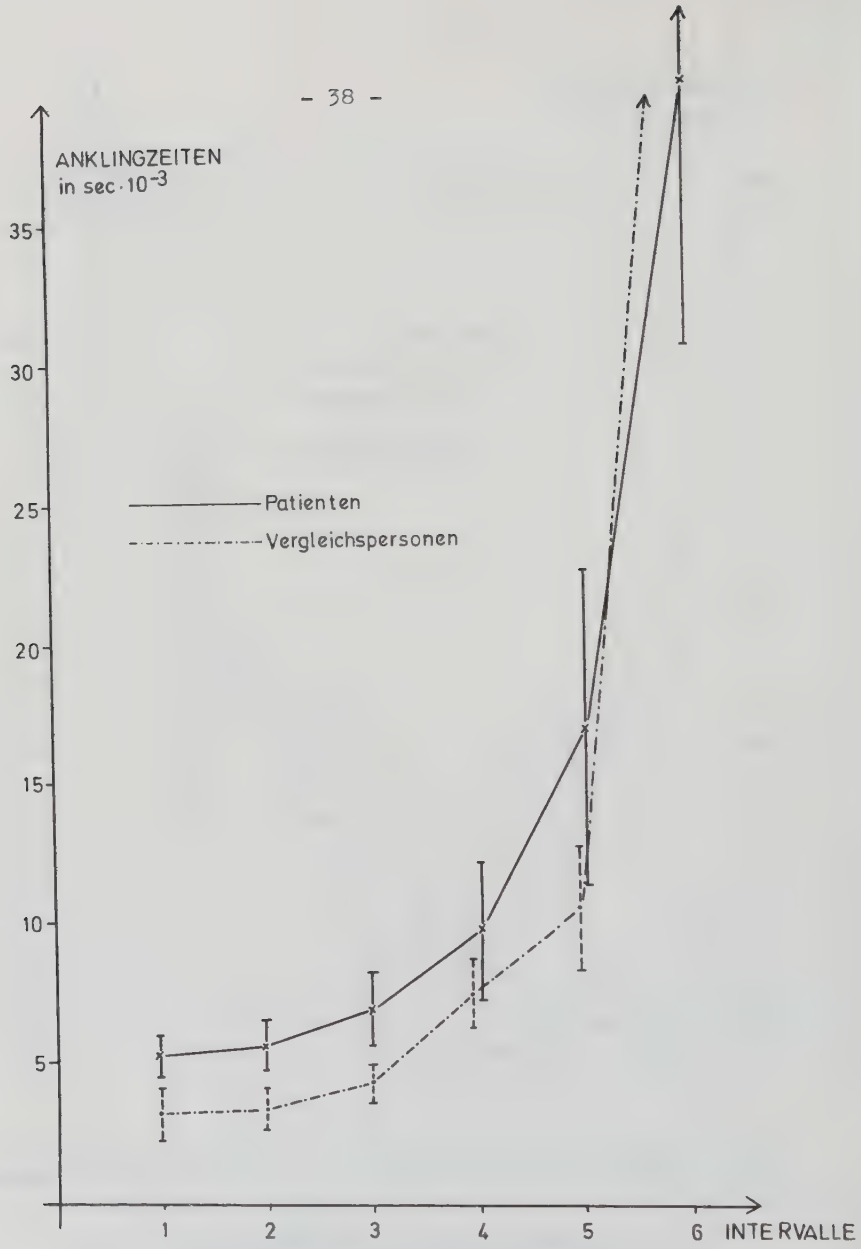


Abb. 19: Anklingzeiten der Energiestufen beim Vokal i im Bereich des 1. und 2. Formanten.
Die Werte der Patienten mit Multipler Sklerose sind für die ersten drei Intervalle von denen der Vergleichspersonen nach $\bar{6}$ signifikant verschieden.

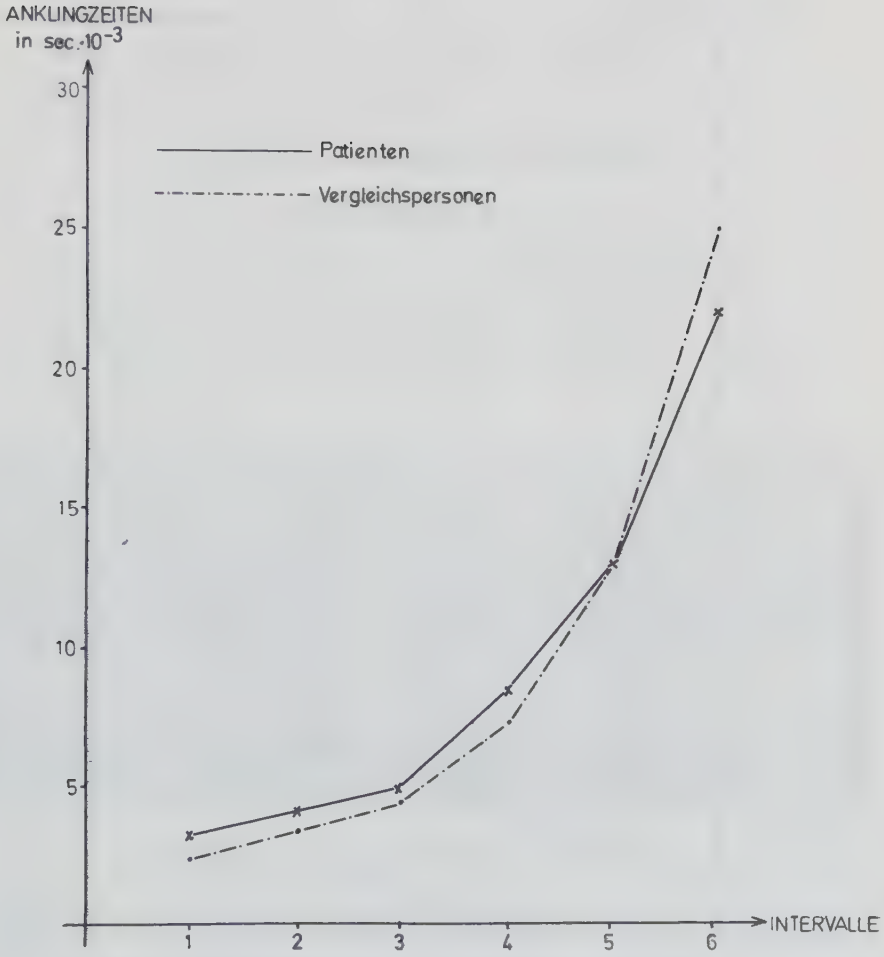


Abb. 20: Anklingzeiten der Energiestufen beim Vokal o im Bereich des 1. und 2. Formanten.
Da die Werte von Patienten mit Multipler Sklerose und von Vergleichspersonen offensichtlich nicht signifikant verschieden sind, wurde auf das Einzeichnen der Signifikanzgrenzen verzichtet.

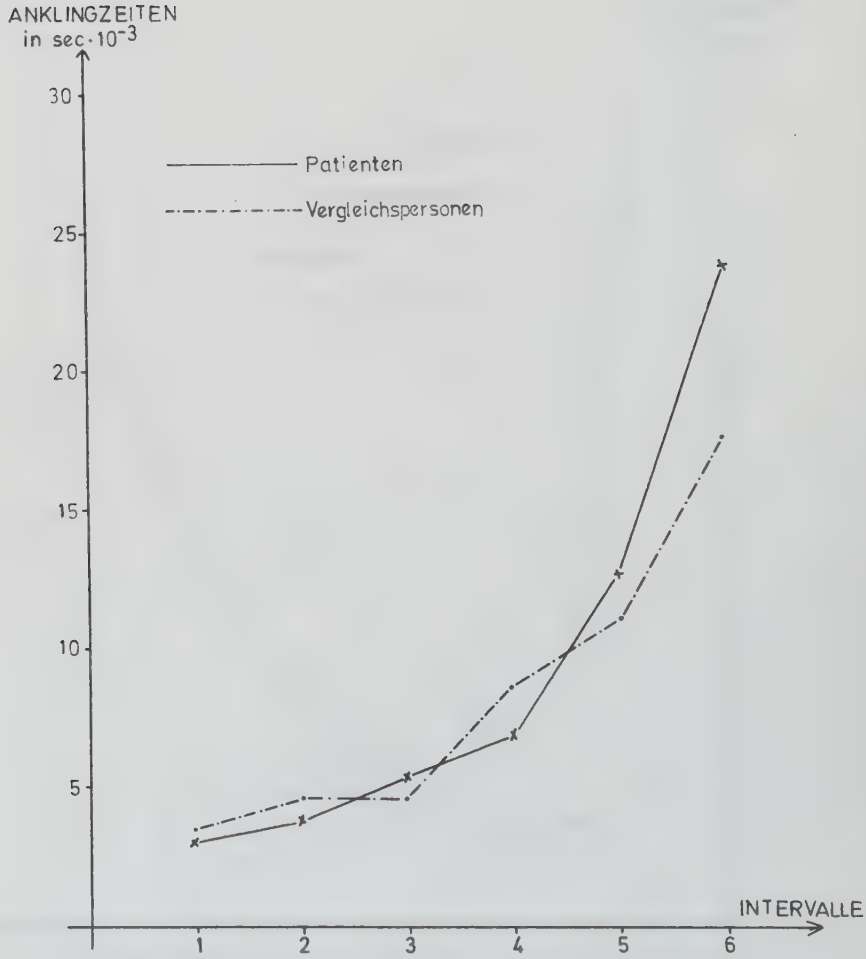


Abb. 21: Anklingzeiten der Energiestufen beim Vokal u im Bereich des 1. und 2. Formanten.
Da die Werte von Patienten mit Multipler Sklerose und von Vergleichspersonen offensichtlich nicht signifikant verschieden sind, wurde auf das Einzeichnen der Signifikanzgrenzen verzichtet.

f. Stärker erhöhte Werte zeigen die Abklingzeiten der einzelnen Energiestufen. Allerdings fanden wir solche veränderte Abklingzeiten auch bei Normalstimmen, so daß sie von den bei der Aufnahme gegebenen Raumverhältnissen mitbestimmt werden dürften. Deshalb besitzen sie nur verminderte Aussagekraft und wurden hier nicht zahlenmäßig erfaßt und statistisch ausgewertet.

g. Die Sonagramme der Patienten zeigen eine Körnelungserscheinung in Form kleiner schwarzer Punkte, die vor allem in der Abklingphase und bevorzugt im Bereich über 3000 Hz auftritt. Abbildung 22 zeigt dieses Phänomen, das bei allen fünf Vokalen vorkommt.

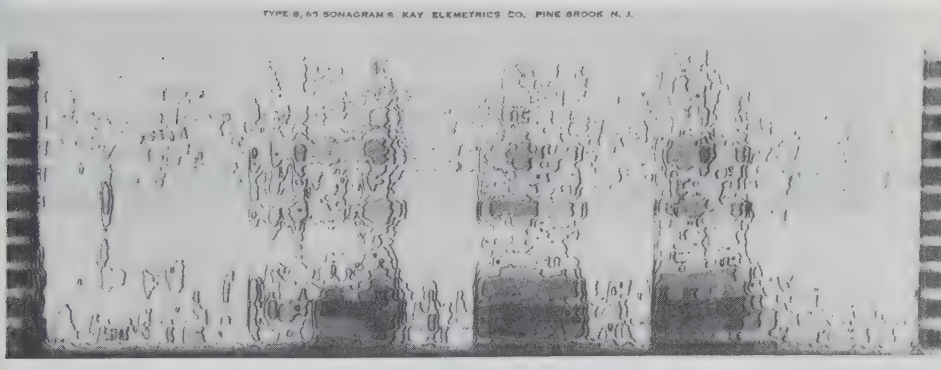


Abb. 22: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal a, gesungen von einem Patienten mit Multipler Sklerose.
Im Bereich über 3000 Hz tritt eine charakteristische Körnelungserscheinung auf.
Ausgangston: d

h. Mehrere Patienten waren nicht in der Lage, die drei jeweils zu singenden Vokale des Dreiklangs

exakt voneinander zu trennen. Die schlechte Artikulation und der unsaubere Übergang von einem Dreiklangton zum anderen waren deutlich hörbar. Nicht zu hören war ein Geräusch, das bei den meisten dieser Patienten im Bereich von etwa 4500 bis 5500 Hz auftrat und das die Zeit von Phonationsbeginn bis -ende andauerte. Es erscheint im Sonagramm als die drei Töne verbindender Streifen der niedrigsten Energiestufe im genannten Frequenzbereich (Abbildung 23). Ein apparativ bedingtes Geräusch wurde ausgeschlossen.

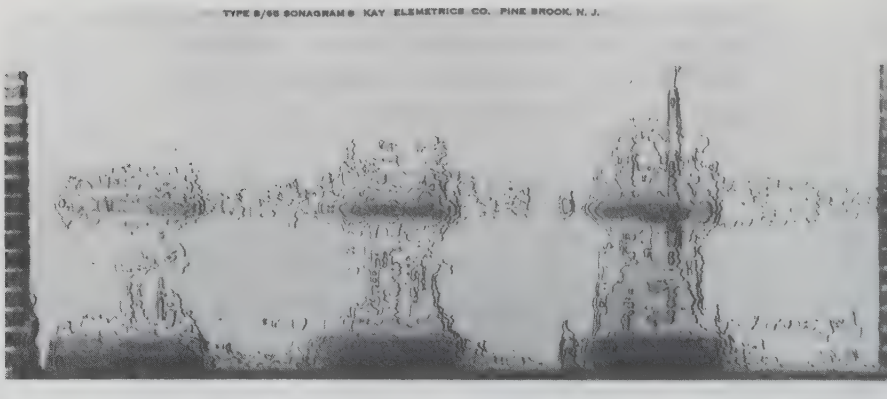


Abb. 23: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal o, gesungen von einem Patienten mit Multipler Sklerose.
Im Bereich von ca. 4500 bis 5500 Hz tritt ein die ganze Phonation andauerndes Geräusch auf.
Ausgangston: g

Die übrigen Krankheiten kamen weniger häufig vor. Die Zahl der Patienten war zu gering für Prozent-Angaben und Statistiken. Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse ist daher rein beschreibender Art.

II. Bulbärparalyse

a. Nur die Hälfte der Patienten erreichte den 7. Intensitätsgrad von 49 dB; die 6. Energiestufe war aber immer vorhanden. Dies gilt für alle fünf Vokale. Ebenso allen Vokalen gemeinsam sind relativ hohe Energiewerte im Bereich über dem 3. Formanten. Für die Vokale o und u liegt hierin ein deutlicher Unterschied zu den Vergleichsaufnahmen. Besonders stark ist diese Abweichung in einem Fall, der uns als "sehr schwer" angegeben wurde.

b. In einem Fall tritt bei allen Vokalen bei Phonationsbeginn in allen Frequenzbereichen Energie auf, was sich in einer mehr oder weniger senkrechten, geradlinigen Begrenzung des sonagraphischen Bildes äußert. Die übrigen Sonagramme zeigen Abweichungen insofern, als im Bereich zwischen den Formanten erst gewisse Zeit nach Beginn der Phonation Energie auftritt, wodurch die Begrenzungslinie des Bildes S-förmig verläuft, also Lücken auftreten. Diese Energieverminderung kann so extrem sein, daß die Verbindung zwischen zwei Formantbereichen völlig verloren geht (siehe Abbildung 24).

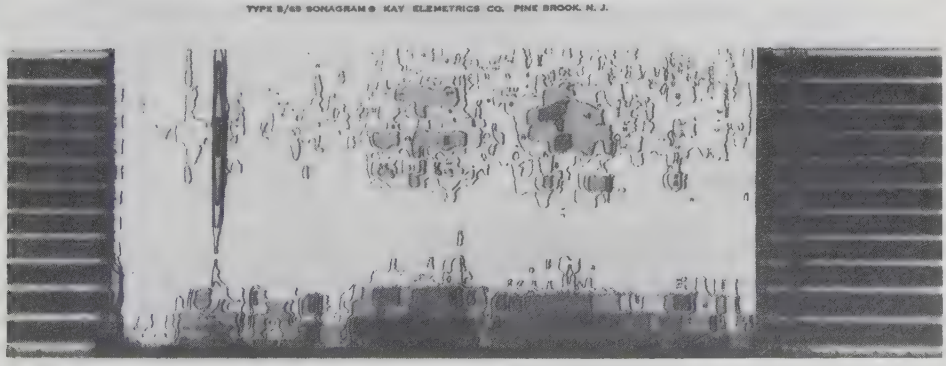


Abb. 24: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal o, gesungen von einem Patienten mit Bulbärparalyse.
Energie-"Lücken" im Bereich zwischen den Formanten.
Ausgangston: d

Der Energieabfall beim dritten Vokal ist dadurch zu erklären, daß von den Patienten während des Singens nicht zwischengeatmet wurde.

c. Besonders deutlich ist bei diesem Krankheitsbild das intermittierende Auftreten der Energiefelder (siehe Abbildung 25).

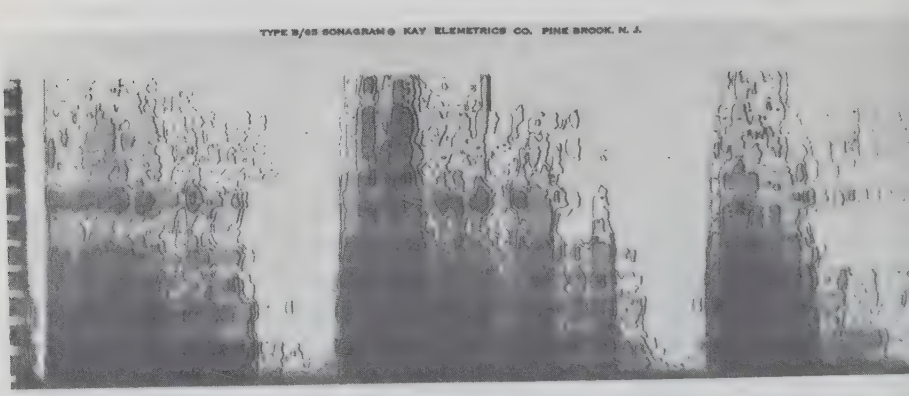


Abb. 25: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal o, gesungen von einem Patienten mit Bulbärparalyse.
Vor allem die Bereiche höherer Energie treten intermittierend auf.
Ausgangston: c

Die Sonagramme beginnen mit einem breiten Anfangs-"Block", in dem auch die höchste Energie auftritt und dem immer kürzere Abschnitte folgen. Dabei nimmt auch die Phonationsenergie ständig ab; die sonagraphischen Bilder haben ein keilförmiges Aussehen.

d. Die Anklingzeiten sind zum Teil wesentlich erhöht, besonders in den oberen Formantbereichen (siehe Abbildung 24). Lediglich im Fall der Abbildung 25 liegen sie in der Größenordnung der Normalwerte.

e. Erhöht sind ebenfalls die Abklingzeiten, besonders im Bereich der Formanten. Dadurch entstehen zum Teil Verbindungen in diesen Frequenzbereichen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Vokalen (Abbildung 26).

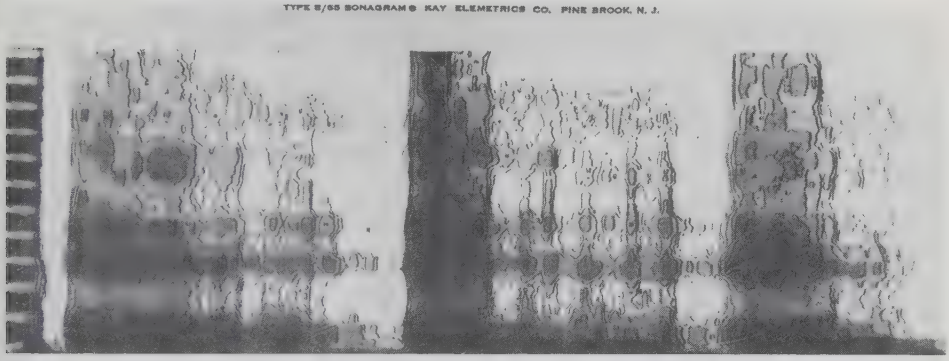


Abb. 26: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal i, gesungen von einem Patienten mit Bulbärparalyse.
Die Abklingzeiten sind erhöht, so daß Verbindungen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Vokalen auftreten.
Ausgangston: c

Beim Abhören der Aufnahmen konnten in den bezeichneten Fällen diese Verbindungen mit dem Ohr nicht wahrgenommen werden.

f. Die bei der Multiplen Sklerose auftretende Körnelungserscheinung ist hier nur in sehr wenigen Fällen andeutungsweise vorhanden.

g. Eine saubere artikulatorische Trennung der Vokale war nicht immer möglich. Auch hier trat, wie bei der Multiplen Sklerose, in den meisten Fällen ein Geräusch im Bereich um 5000 Hz auf, das die meisten Dreiklangtöne miteinander verbindet.

III. Parkinson-Syndrom

a. Alle vier Patienten erreichten die 7. Energiestufe. Die Intensität in den einzelnen Formantbereichen entsprach im wesentlichen der der Kontrollpersonen.

b. Wie bei den oben geschilderten Krankheiten tritt auch beim Parkinson-Syndrom im Bereich zwischen den Formanten nicht sofort bei Phonationsbeginn Energie auf, was für den Vokal a einen Unterschied zu Gesunden bedeutet.

c. Das Auftreten von Energie erfolgt beim Parkinson-Syndrom nicht stoßweise. Jedoch sind die Energiefelder nicht, wie bei Gesunden, balkenförmig rechteckig (siehe Abbildung 11). Sie sind vielmehr sehr vielgestaltig, wobei aber die vertikalen Begrenzungen charakteristisch stufenförmig verlaufen (Abbildung 27).

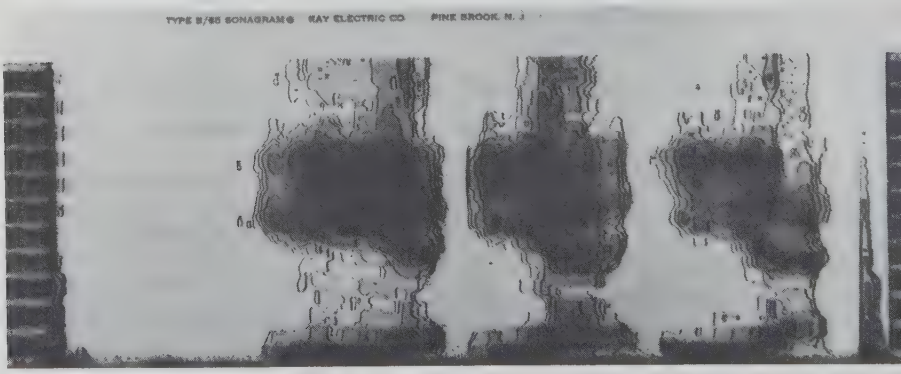


Abb. 27: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal i, gesungen von einem Patienten mit Parkinson-Syndrom.
Auffallend ist die Vielgestaltigkeit der Energiefelder.
Ausgangston: d

d. Erhöhungen der Anklingzeiten waren im oberen Frequenzbereich zu verzeichnen.

e. Im Abklingbereich entsteht, wie bereits unter Absatz c erwähnt, eine mehr oder minder stark ausgeprägte Stufenform des sonagraphischen Bildes (Abbildung 28).

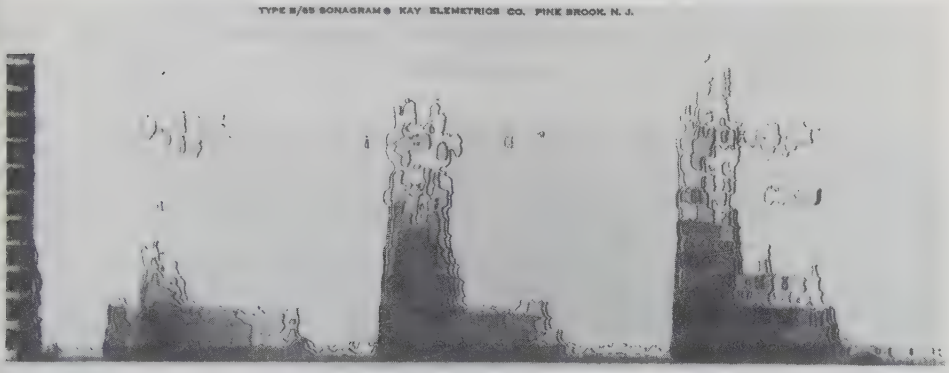


Abb. 28: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal o, gesungen von einem Patienten mit Parkinson-Syndrom.
Im Abklingbereich entsteht ein stufenförmiges Bild.
Ausgangston: h

f. Die Artikulation war relativ gut, die Töne konnten voneinander abgegrenzt werden. Jedoch trat auch hier, wenn auch nur in wenigen Fällen, ein die ganze Phonation andauerndes Geräusch im Bereich von etwa 5000 Hz auf.

IV. Chorea-Syndrom

a. Die 7. Intensitätsstufe konnte zwar erreicht werden, jedoch nur für sehr kurze Zeit. Allgemein sind die Stimmen in allen Frequenzbereichen energieärmer als bei Gesunden.

b. Daraus resultieren auch Lücken der sonagraphischen Bilder, worin sich Aufnahmen des Vokals a von "Normalsonagrammen" unterscheiden.

c. Vor allem die hohen Energien können nicht lange gehalten werden; es entsteht auch hier das charakteristische Bild des "Stotterns" (Abbildung 29).

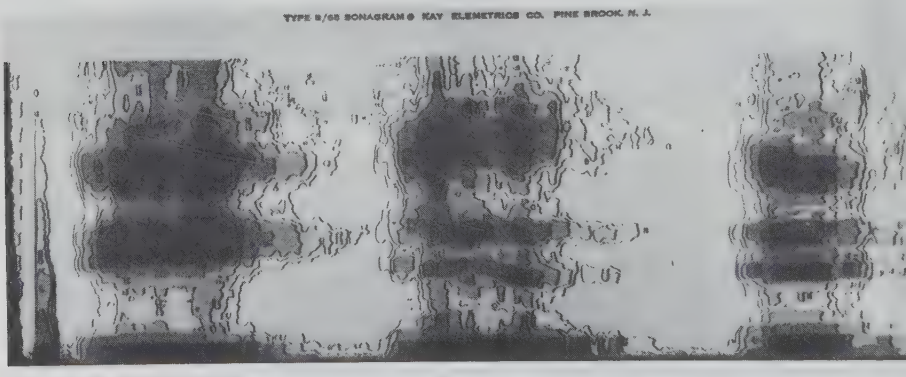


Abb. 29: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal e, gesungen von einem Patienten mit Chorea-Syndrom.
Auffallend ist das intermittierende Auftreten der höheren Energiebereiche.
Ausgangston: d

d. Die Anklingzeiten sind wesentlich erhöht (Abbildung 29).

e. Ebenso dauert die Abklingphase um ein Vielfaches länger als bei Gesunden (Abbildung 29).

f. Im Bereich ab 3000 Hz tritt intensiv eine Körnelungserscheinung auf, die sich sowohl auf den Anklingals auch auf den Abklingbereich erstreckt.

g. Bereits akustisch hörbar war das Unvermögen der Patienten zur exakten Trennung der einzelnen Dreiklangtöne, was sich in entsprechenden sonagraphischen Bildern niederschlägt. Daneben trat auch das die Vokale verbindende Geräusch im genannten Frequenzbereich auf (Abbildung 30).

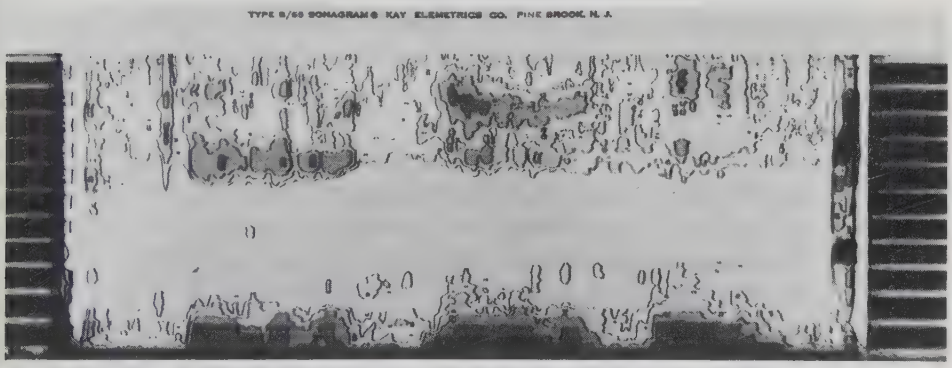


Abb. 30: Sonagramm eines Dreiklanges mit dem Vokal o, gesungen von einem Patienten mit Chorea-Syndrom.
Es zeigt das Ineinanderfließen der einzelnen Dreiklangtöne.
Ausgangston: d

V. Morbus Wilson

Da der Morbus Wilson zusammen mit der Chorea zu den hyperkinetischen Extrapyramidal-Syndromen gehört, sei erwähnt, daß die Merkmale der Sonagramme des einen Patienten mit dieser Erkrankung denen der Sonagramme der Chorea-Patienten entsprachen.

E. Diskussion

I. Besprechung der Ergebnisse

Die hier diskutierten Ergebnisse beziehen sich im wesentlichen auf die Patienten mit Multipler Sklerose. Da wir nur wenige Patienten mit anderen Krankheiten untersuchen konnten und diese daher nicht unbedingt als repräsentativ zu betrachten sind, könnten Erklärungen nicht mehr als Deutungsversuche sein. Es wurde deshalb weitgehend auf sie verzichtet. Natürlich gelten die folgenden Erklärungen auch für entsprechende Erscheinungen bei Bulbärparalyse, Parkinson-Syndrom, Chorea-Syndrom und Morbus Wilson.

a. Die Erscheinung, daß bei den untersuchten Patienten die Phonation im allgemeinen weniger energiereich war als bei den Kontrollpersonen, beruht auf dem Zusammenwirken mehrerer Faktoren, die ihre Ursache in der Fehlinnervation und Fehlkoordination der an der Stimmgebung und -leitung beteiligten Organe haben.

Zu nennen wären hier zunächst Fehlfunktionen des Kehlkopfes, nämlich ein schlechter, zumindest aber nicht optimaler Glottisschluß, bedingt durch eine zu geringe Spannung der Stimmlippen. Durch den mangelnden Glottisschluß entweicht bei der Phonation wesentlich mehr Luft als normal. Dies äußert sich zum einen in einem Geräusch, das im Sonagramm als "Körnelung" auftritt, in Heiserkeit der Stimme und in einem überdurchschnittlichen Luftverbrauch, der wiederum eine schnelle Ermüdbarkeit der Patienten zur Folge hat.

Durch Störungen in der Erregungsleitung ist das ordnungsgemäße Zusammenspiel der Kehlkopfmuskeln

behindert.

Durch die Fehlinnervation der Atemhilfsmuskulatur ist ein gleichmäßiger Luftstrom zur Anregung der Stimmlippen nicht immer gewährleistet.

Beim Parkinson-Syndrom wird auf Grund der erhöhten Tonuslage der Muskulatur das Ansatzrohr erschwert in Schwingungen versetzt, woraus eine geringere Schwingungsamplitude resultiert.

Mit der veränderten Schwingungsfähigkeit der Muskulatur läßt sich vermutlich auch das Auftreten von neuen Resonanzbereichen bei den Vokalen o und u erklären.

b. Das Auftreten von Energielücken bedeutet, daß im entsprechenden Frequenzabschnitt (noch) keine Schwingung des Ansatzrohres stattfindet. Daß verspätet dann doch noch Schwingungen auftreten, ließe sich dadurch erklären, daß der Muskeltonus im Verlauf der Phonation nachläßt. Eine andere Möglichkeit der Deutung wäre, daß der Patient zu Beginn der Phonation nicht zur vollen Energieleistung und damit zur vollen Lautstärke fähig ist, sondern diese erst nach einer gewissen Zeit erlangt (siehe auch unten: größere Anklingzeiten). Für diese Erklärung spricht auch die Beobachtung, daß bei Dreiklängen beim dritten gesungenen Vokal zeitlich kürzere Energielücken auftraten als beim ersten, was dadurch entsteht, daß die Patienten im Bestreben, höher zu singen, die Lautstärke steigerten.

c. Die, im Vergleich zu Gesunden verkleinerten, Energiemaxima können nur kurze Zeit gehalten werden. Für das Parkinson-Syndrom liegt eine Erklärung in

der erhöhten Tonuslage der Muskulatur des Ansatzrohres. Die erzeugten Schwingungen sind stark gedämpft, so daß das Resonanzmaximum nur kurz erreicht wird und die Schwingungsamplitude rasch wieder abnimmt.

Verstärkt kann dies werden durch den bei allen Krankheiten auftretenden mangelnden Glottisschluß insofern, als die für maximale Impulse nötige Luft auf Grund des erhöhten Luftverbrauches nur kurz zur Verfügung steht. Nach der Formel

$$q_e = s_e \cdot v_e$$

ist nämlich der abgestrahlte Schallfluß q_e abhängig vom Querschnitt s_e und der durchtretenden Schnelle v_e, die aber vom herrschenden Druckgefälle bestimmt wird.

d. Bei Gesunden liegt der erregende Schallfluß weit und lange über dem Schwellenwert für eine Resonanzschwingung. Das intermittierende Auftreten von Energie bei den Patienten ist so zu erklären, daß dieser kritische Schwellenwert nur geringfügig und nur für sehr kurze Zeit überschritten wird; die Schwingung wird gleich wieder gedämpft (siehe oben). Zusätzlich sind noch intervallartige Dämpfungen durch Fehlimpulse aus dem Zentralnervensystem denkbar, die unwillkürliche Aktionen der Stimmlippen zur Folge haben, wie sie ZIEMSSEN beim Chorea-Syndrom beschrieben hat.

e. Die Anklingzeiten sind verlängert. Phonation ist ein dem Willen unterworfener Vorgang. Im Gegensatz zu neurologisch Gesunden ist es dem Patienten offenbar nicht möglich, das Vorhaben, einen Vokal zu

singen, sofort im vollen Umfang in die Tat umzusetzen. Die volle phonatorische Leistung setzt erst verzögert ein. Zu erklären ist dies dadurch, daß der Schwellenwert für die Erregung einer Resonanzschwingung verspätet erreicht wird. Eine verminderte Atemkapazität und eventuell Fehlfunktionen des Kehlkopfes können der Grund für diese Erscheinung sein. Eine weitere Erklärung ist aber sicher auch die bei der Multiplen Sklerose verlangsamte Nervenleitfähigkeit. Daß Unterschiede zu den Anklingzeiten Gesunder nicht bei allen Vokalen auftreten, dürfte seine Begründung in den verschiedenen Konfigurationen und damit der möglicherweise verschiedenen Erregbarkeit des Ansatzrohres haben.

Außerdem ist beim Parkinson-Syndrom eine Erhöhung des Schwellenwertes als Folge des gesteigerten Muskeltonus möglich.

f. Die verlängerten Abklingzeiten entstehen als Resultat von fortgesetzten Impulsen. Der Luftstrom, der eine Erregung der Stimmlippen hervorruft, kann nicht abrupt abgebrochen werden (eventuell auf Grund der langsameren Reizleitung), sondern verebbt langsamer, so daß das Ansatzrohr zu vermehrten Schwingungen mit kleiner Amplitude angeregt wird.

g. Auftreten einer "Körnelung" sowie eines "Bandes" niederer Energie während der Phonation in bestimmten Frequenzgrenzen.

Wie bereits erwähnt, entsteht auf Grund der mangelnden Fähigkeit zum präzisen Stimmlippenschluß ein Luftstrom, der bestimmte Teile des Ansatzrohres in Schwingungen versetzt. Daher ist der Frequenzbereich, in dem diese Erscheinung auftritt, mit geringen

Abweichungen immer gleich.

Da bei unseren Patienten (auf Grund der unkoordinierten Atemtätigkeit sehr häufig) Mundatmung festzustellen war, klangen die Stimmen durch die entstandenen chronischen Laryngitiden in zahlreichen Fällen heiser, was sich in dieser Erscheinung auf den Sonagrammen niederschlug. Zusätzlich können Rasselgeräusche durch Bronchitiden, die aus demselben Grund bestehen, auftreten.

II. Kritische Betrachtung der durchgeführten Untersuchungen

a. Fehler bei der Aufnahme

Als Fehlerquelle bei der Aufnahme kommen die verschiedenen Aufnahmebedingungen in Betracht. Um genügend Patienten untersuchen zu können, mußten in vier verschiedenen Krankenanstalten Aufnahmen gemacht werden. Deshalb waren die Aufnahmebedingungen nicht immer gleich.

b. Fehler beim Vermessen der Sonagramme

Die Sonagramme wurden mit Lupe und Lineal vermessen. Dabei war eine Ungenauigkeit von $\pm$ 0,1 mm nicht auszuschließen, was umgerechnet einer Zeit von $7{,}5 \cdot 10^{-4}$ sec entspricht.

c. Aussichten auf weitere Untersuchungen

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß mit der Sonagraphie ein Mittel zur Verfügung steht, organische Erkrankungen des Zentralnervensystems, sofern sie mit Stimmstörungen einhergehen,

diagnostisch zu untermauern, besonders in jenen Fällen, in denen diese Störungen mit den herkömmlichen Mitteln noch nicht feststellbar sind. Zur exakten Diagnostik oder gar zur Früherkennung reicht die Sonagraphie allein jedoch nicht aus. Weitere Untersuchungen, wie etwa die Elektromyographie oder Messungen der Atemtätigkeit sind hierzu unerläßlich.

F. Zusammenfassung

Untersucht wurde, inwieweit die Stimmstörungen bei Patienten mit organischen Hirnerkrankungen sonagraphisch erfaßt werden können. Zur Auswertung kamen Sonagramme von Patienten mit Multipler Sklerose, Bulbärparalyse, Parkinson-Syndrom, Chorea-Syndrom und Morbus Wilson.

Wir gelangten zu folgenden Ergebnissen:

I. Die Stimme der Patienten ist im allgemeinen weniger energiereich als die Stimme neurologisch Gesunder.

II. Bei Patienten mit Multipler Sklerose treten beim Vokal a charakteristische Energielücken im Bereich zwischen den Formanten auf.

III. Hohe Energiewerte werden, wenn überhaupt, nur für kurze Zeit erreicht.

IV. Innerhalb eines Vokals können mehrere Energiemaxima aufeinanderfolgen.

V. Die Anklingzeiten der einzelnen Energiestufen sind verlängert.

VI. Die Abklingzeiten sind ebenfalls verlängert.

VII. Im Frequenzbereich ab 3000 Hz tritt eine Körnelungserscheinung in Form kleiner Punkte als wahrscheinlicher Ausdruck von geringen Schwingungen des Ansatzrohres auf, die als Folge eines Luftstromes entstehen, der auf Grund des mangelnden Glottisschlusses entweichen kann.

VIIIa. Die Patienten sind nicht immer in der Lage, einzelne Vokale eines Dreiklanges exakt voneinander zu trennen.

b. Ein "Band" niederer Energie tritt während der gesamten Phonation um 5000 Hz auf; es handelt sich dabei sehr wahrscheinlich um pathologische Atemgeräusche.

Die Ergebnisse I, III und VIIIa stimmen mit Angaben in der Literatur überein und konnten erstmals sonagraphisch belegt werden.

Die Ergebnisse II, IV, V, VI, VII und VIIIb waren bisher nicht bekannt.

G. Literaturverzeichnis

BIESALSKI, P. u.a.: Phoniatrie und Pädoaudiologie, Thieme, Stuttgart (1973)

BÖHME, G.: Untersuchungsmethoden der Stimme und der Sprache, Barth, Leipzig (1972)

BÖHME, G.: Stimm-, Sprach- und Hörstörungen bei extrapyramidalen Erkrankungen; Sonderdruck aus dem Bericht der Tagung über Oto-Neuro-Ophthalmologie Dresden, S. 146 - 147, Thieme, Leipzig (1963)

BÖHME, G.: Stimmstörungen bei cerebralen Erkrankungen; II. Wissenschaftliche Konferenz des Instituts für Sonderschulwesen der Humboldt-Universität, Berlin, S. 175 - 180, Volk und Wissen, Berlin (1963)

BÖHME, G.: Störungen der Stimme und Sprache als Symptom bei neuropsychiatrischen Erkrankungen, 7. Phoniatrierunde, Universitäts-Hals-Nasen-Ohrenklinik Rostock am 11. 6. 1971

BÖHME, G.: Zur sonagraphischen Differentialdiagnose der Dysarthrie (unter besonderer Berücksichtigung infantiler Zerebralparesen), Speech-Symposion Szeged, 26. - 29. 8. 1971

CREMER, L.: Vorlesungen über technische Akustik, Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1971)

v. ESSEN, O.: Allgemeine und angewandte Phonetik, Akademie-Verlag, Berlin (1966)

v. ESSEN, O.: Grundbegriffe der Phonetik, 2. Auflage, Carl Marhold, Berlin (1969)

FREYSTADL, B.: Kehlkopf und Rachen in ihren Beziehungen zu den Erkrankungen des Zentralnervensystems, S. Karger, Berlin (1928)

KEIDEL, W.D.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie, Thieme, Stuttgart (1970)

KITTEL, G. und WEIDEL, K.: Sonagraphische Vokaluntersuchungen in Abhängigkeit von der Tonhöhe, Archiv klin. exp. Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde, Band 205, Heft 2, 1973, Kongreßbericht 1973/II. Teil, Springer (1973)

LEUBE: zitiert bei Böhme

LÖRI: zitiert bei Böhme

LUCHSINGER, R. und ARNOLD, G.E.: Handbuch der Stimm- und Sprachheilkunde, Band 1 und 2, Springer, Wien-New York (1970)

MEYER-EPPLER, W.: Experimentelle Untersuchungen zum Mechanismus von Stimme und Gehör in der lautsprachlichen Kommunikation.
In: Forschungsberichte des Wirtschaftsministeriums und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfahlen, herausgegeben von L. Brandt, Westdeutscher Verlag, Köln-Opladen (1955)

MUMENTHALER, M.: Neurologie, Thieme, Stuttgart (1970)

v. RIPER, J.: Artikulationsstörungen, Carl Marhold, Berlin (1970)

SCHEID, W. und WIECK, H.H.: Lehrbuch der Neurologie, Thieme, Stuttgart (1966)

SEEMAN, M.: Sprachstörungen bei Kindern, 2. Auflage, Volk und Gesundheit, Berlin (1965)

STERN, H.: Die symptomatischen Sprachstörungen, In: Sprachheilkunde, herausgegeben von Gutzmann, 3. Auflage, H. Kornfeld, Berlin (1924)

STRANSKY, E. und WALDSCHÜTZ, J.: Das klinische Gesicht der Multiplen Sklerose, W. Maudrich, Wien (1951)

TRENDELENBURG, F.: Einführung in die Akustik, 3. Auflage, Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1961)

VIEREGGE, W.: Untersuchungen zur akustischen Artikulation der Plosivlaute, S. Karger, Basel (1970)

WINCKEL, F.: Elektroakustische Untersuchungen an der menschlichen Stimme, Folia phoniatrica 4 Fasc. 2 (1952), S. 93 - 113

WODE, H.: Linguistische Untersuchungen zum Parkinsonismus, S. Karger, Basel (1970)

H. Anhang

Zur Abbildung 14

Vokal	Mittelwerte der Verhältnisse der gesamten Phonationsdauer zur Dauer der 6. Energiestufe bei Patienten mit MS	σ	Mittelwerte der Verhältnisse der gesamten Phonationsdauer zur Dauer der 6. Energiestufe bei neurologisch Gesunden	σ
a	1,83	0,6	1,2	0,08
e	1,73	0,49	1,46	0,2
i	1,66	0,59	1,4	0,25
o	1,68	0,44	1,4	0,16
u	1,65	0,54	1,5	0,14

Zur Abbildung 15

Vokal	Mittelwerte der Verhältnisse der gesamten Phonationsdauer zur Dauer der 7. Energiestufe bei Patienten mit MS	σ	Mittelwerte der Verhältnisse der gesamten Phonationsdauer zur Dauer der 7. Energiestufe bei neurologisch Gesunden	σ
a	2,84	1,41	1,36	0,08
e	3,11	1,51	2,74	0,54
i	3,05	1,72	2,5	0,0
o	3,55	1,88	1,64	0,116
u	2,4	1,22	1,98	0,7

Zur Abbildung 17 (Vokal a):

Intervall	Anklingzeit bei Patienten mit MS in $sec \cdot 10^{-3}$	σ in $sec \cdot 10^{-3}$	Anklingzeit bei neurologisch Gesunden in $sec \cdot 10^{-3}$	σ in $sec \cdot 10^{-3}$
1	6,75	3,75	2,25	1,5
2	5,25	1,42	2,32	0,75
3	7,5	3,9	2,32	1,27
4	7,5	3,75	3,3	1,42
5	11,77	7,27	6,0	2,85
6	22,95	12,45	9,0	4,43

Zur Abbildung 18 (Vokal e):

Intervall	Anklingzeit bei Patienten mit MS in $sec \cdot 10^{-3}$	σ in $sec \cdot 10^{-3}$	Anklingzeit bei neurologisch Gesunden in $sec \cdot 10^{-3}$	σ in $sec \cdot 10^{-3}$
1	4,87	0,75	3,0	1,5
2	5,55	1,95	4,2	1,95
3	9,22	3,37	4,35	2,02
4	12,97	6,75	5,4	1,05
5	21,0	12,6	10,35	3,9
6	38,55	13,05	33,6	7,37

Zur Abbildung 19 (Vokal i):

Intervall	Anklingzeit bei Patienten mit MS in $sec \cdot 10^{-3}$	σ in $sec \cdot 10^{-3}$	Anklingzeit bei neurologisch Gesunden in $sec \cdot 10^{-3}$	σ in $sec \cdot 10^{-3}$
1	5,25	1,5	3,15	1,95
2	5,62	1,8	3,37	1,2
3	6,97	2,75	4,27	1,5
4	9,67	4,88	7,5	2,7
5	16,8	11,25	10,5	4,5
6	39,6	18,3	72,5	4,4

Zur Abbildung 20 (Vokal o):

Intervall	Anklingzeit bei Patienten mit MS in $sec \cdot 10^{-3}$	Anklingzeit bei neurologisch Gesunden in $sec \cdot 10^{-3}$
1	3,15	2,25
2	3,97	3,3
3	4,72	4,27
4	8,25	7,05
5	12,75	12,75
6	21,75	24,75

Zur Abbildung 21 (Vokal u):

Intervall	Anklingzeit bei Patienten mit MS in $sec \cdot 10^{-3}$	Anklingzeit bei neurologisch Gesunden in $sec \cdot 10^{-3}$
1	3,0	3,37
2	3,75	4,5
3	5,02	4,8
4	6,82	8,4
5	14,25	10,87
6	23,25	17,25

Lebenslauf

Name:	Ulrich Hirschmann
Geboren am:	11. März 1949
in:	Altdorf bei Nürnberg
Eltern:	Georg Hirschmann, Gastwirt und Frau Anna Hirschmann, geb. Maul
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Schulbildung:	1955 - 1959 Volksschule in Altdorf 1959 - 1968 Leibniz-Gymnasium in Altdorf
Studiengang:	Studium der Zahnheilkunde vom Wintersemester 1968/69 bis zum Sommersemester 1973
Prüfungen:	Abitur am 23. Juli 1968 Zahnärztliche Vorprüfung 1. Teil am 11. November 1969 2. Teil am 23. März 1971 Zahnärztliche Prüfung am 9. November 1973
Bestallung als Zahnarzt:	16. November 1973

Buchdruckerei Ludwig Müller - 852 Erlangen, Fahrstraße 5